This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

Digitized by Google

3 2044 106 337 843

Per Neth
N-4

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

RECUEIL

des

Travaux Botaniques Néerlandais.

Digitized by Google

Digitized by Google

Recueil

des

Travaux Botaniques Néerlandais,

publié par la

Société Botanique Néerlandaise,

sous la rédaction de M.M.

W. Burck, J. W. C. Goethart, J. P. Lotsy, J. W. Moll
et F. A. F. C. Went.

Volume III.

Nimègue. — F. E. MACDONALD. — 1907.

Digitized by Google

Digitized by Google

SOMMAIRE.

Articles:

JOHANNA WESTERDIJK. Zur Regeneration der Laubmoose. Taf. I u. II 1

W. J. JONGMANS. Ueber Brutkörper bildende Laubmoose . 67

W. BURCK. On the influence of the nectaries and other sugarcontaining tissues in the flower on the opening of the anthers 163

PH. VAN HARREVELD. Die Unzulänglichkeit der heutigen Klinostaten für reizphysiologische Untersuchungen. Taf. III, IV u. V 173

Photographies de Plantes intéressantes:

J. P. LOTSY. I. Pflanzen des javanischen Urwaldes. Acrostichum spectabile Rac. Taf. VI.

Digitized by Google

Digitized by Google

Zur Regeneration der Laubmoose,

von

JOHANNA WESTERDIJK.

EINLEITUNG.

Es ist bekannt, dass bei einer grossen Zahl von Moospflanzen jedes Organ nach der Abtrennung von den übrigen Teilen Protonema hervorbringt, welches neue Pflanzen bilden kann. So wurde die Entwicklung von Protonema beobachtet aus Blättern und Stammstücken. Goebel[1]) beschriebt sogar (bei Schizostega) den Übergang der Scheitelzelle in Protonema. Was aber die Rhizoiden betrifft, so herrschte lange Zeit die Ansicht, es genüge, dieselben dem Einflusse des Lichtes auszusetzen, um Protonemabildung hervorzurufen, ohne dass irgend welche, für die übrigen Organe notwendige Ursache zu einem Regenerationsvorgang vorhanden sei, weil eben Rhizoiden und Protonema als zwei äusserste Formen einer und derselben Bildung aufgefasst werden, deren spezifische Eigenschaften von der Beleuchtung abhängig sind.

Dieser Ansicht war Sachs.[2]) Er behauptet: Sekundäres Protonema kann sich nun aber auch aus jedem Rhizoid, wenn es dem Lichte ausgesetzt und feucht gehalten wird, bilden; bei manchen Arten (Mnium, Bryum, Barbula, u. a.)

1) Goebel. Sitzungsberichte der Bayr. Akademie 1896.
2) Sachs. Lehrbuch der Botanik 4te Auflage. p. 366.

Digitized by Google

genügt es, einen Moosrasen mit seinem Wurzelfilz nach oben gekehrt, einige Tage lang feucht zu halten, um hunderte von Pflanzen auf diese Weise entstehen zu sehen."

Bei Müller-Thurgau[1]) findet sich eine Abbildung, welche zeigt, dass die über den Boden wachsenden Rhizoidzweigen grün gefärbt sind und völlig mit dem Protonema übereinstimmen. Diese Figur finden wir öfters in Lehrbüchern zurück, wie z. B. in Luerssen's Handbuch der systematischen Botanik. Der Verfasser giebt an: „Die den Wachstumstypus der oberirdischen Vorkeimzweige genau wiederholenden Rhizoiden der Vorkeime können aber unter günstigen Verhältnissen wieder aus dem Boden hervorwachsen und dann sogleich wieder die Eigenschaften chlorophyllhaltiger Zweige annehmen.

Es können aber auch die von den Rhizoiden der Vorkeime morphologisch und physiologisch nicht unterschiedenen Rhizoiden beblätterter Moospflänzchen über die Bodenoberfläche hervorwachsen und ausserhalb der Erde zu normalen Vorkeimaxen oder Zweigvorkeimen sich entwickeln: sie passen sich also wie die Protonemarhizoiden den veränderten Lebensbedingungen an."

Goebel[2]) hat aber nachgewiesen, dass der Vorgang nicht auf einer einfachen Lichtwirkung beruht. Seine im Dunkeln gekeimten und mit Zucker ernährten Sporen von Funaria produzierten ein Protonema mit geraden Querwänden, das aber des Chlorophylls entbehrte. Er betrachtet das Licht nur als eine Bedingung; als ausschlaggebend für die Bildung des Protonemas aber andere Faktoren, nach seiner Meinung wahrscheinlich Correlationsverhältnisse. Experimentelle Beweise fehlen aber noch.

---

1) Müller Thurgau. Die Sporenvorkeime und Zweigvorkeime der Laubmoose. Arbeiten des bot. Inst. Würzburg. 1874.

2) Goebel. Organographie. pag. 340.

Digitized by Google

Correns [1]) beschreibt einen Fall (Eurrhynchium striatum), wo er die Ablösung der Rhizoiden vom Stamm als Ursache der Verwandlung in Protonema betrachtet. Sie wäre hier also die Folge eines inneren Umstandes.

Eine zweite innere Ursache sieht er in der Konstitution der Species, während er nur für den Chlorophyllgehalt die äussern Umstände als massgebend betrachtet.

De Forest Heald [2]) erwähnt den Übergang von Protonema in Rhizoiden nach Verdunklung, ohne weitere Angaben.

Es schien nach diesen sehr unvollständigen Angaben von Interesse, die Frage näher experimentell zu prüfen.

Es ist also der Zweck folgender Untersuchungen, die verschiedenen Umstände festzustellen, unter welchen einerseits Protonema, anderseits Rhizoiden an der Moospflanze entstehen, beziehungsweise, wie die Umwandlung der einen Form in die andere erfolgen kann.

Bevor ich zu der Einteilung und zur Beschreibung der Versuche übergehe, will ich ein paar Worte vorausschicken: *über den Begriff Rhizoid* und *Protonema.*

Die charakteristischen Eigenschaften der *Rhizoiden* sind:

schiefstehende Scheidewände;
Wandfärbung zuletzt braun oder rötlich;
farblose, mit Plasma dicht erfüllte Spitzen;
kleine längliche Leucoplasten;
Seitenäste erster oder zweiter Ordnung manchmal viel dünner als die Hauptäste.

Diejenigen für das *Protonema:*

querstehende Scheidewände;
Membrane farblos;
der ganze Faden mit grossen Chloroplasten dicht erfüllt, die Seitenäste von der Dicke des Mutterastes.

1) Correns. Untersuchungen über die Vermehrung der Laubmoose durch Brutorgane und Stecklinge. pag. 342—343.
2) De Forest Heald. A study of Regeneration, as exhibited by Mosses. Botanical Gazette. 1898 p. 169.

Digitized by Google

Die Rhizoiden dienen zur Stoffaufnahme und zur Befestigung der Pflanze in dem Boden; das Protonema dagegen produziert die jungen Pflanzen, bezweckt somit eine möglichst grosse Ansammlung von Assimilaten.

Die beiden Organe, die also durch verschiedene, in ihrer respektiven Funktion bedingten Merkmale charakterisiert sind, sind wesentlich nur die beiden extremen Entwicklungsformen eines und desselben Gebildes. Diese Auffassung findet ihre Berechtigung in den zahlreichen Uebergangsformen, die man zwischen den beiden wahrgenommen hat, und in der Tatsache, dass es Moose gibt, bei denen nur eine Form vorkommt, bei denen man also die Rhizoiden nicht vom Protonema unterscheiden kann.

Digitized by Google

ABSCHNITT I.

Einteilung der Versuche und Methodisches.

Einteilung.

Die Bedingungen, welche Ursache sein könnten, dass die Moospflanzen in einem Falle Protonema, im andern Rhizoiden hervorbringen, sind zweierlei Art: 1. äussere, 2. innere.

Die äusseren Bedingungen, welche in Betracht kommen sind:

a. das Licht,
b. die mechanische Beschaffenheit des Cultursubstrats (Kontakt),
c. die chemische Zusammensetzung desselben,
d. der Feuchtigkeitsgrad.

Die inneren Bedingungen sind alle Ernährungsbedingungen im weiteren Sinne.

a. Correlationsverhältnisse.

Auf das Entfernen von verschiedenen Teilen reagiert die Pflanze durch „Regeneration". Für die Neubildungen, die bei diesem Prozess entstehen, werden die Nahrungsstoffe verwendet, die sonst dem entfernten Teil zukommen würden. Der entfernte und der neue Teil treten in antagonistische Correlation zu einander, d. h. das Vorhandensein des einen Teiles hemmt die Entwicklung des andern.

Inwiefern nun Protomena und auch Rhizoiden als „Correlationsbildungen" auftreten können, soll durch die Experimente erläutert werden.

Digitized by Google

b. Das Entwicklungsstadium der Planze.

Auch das Alter der Pflanze, das Vorhandensein oder Fehlen von Geschlechtsorganen oder Früchten und die damit zusammenhängende Qualität und Quantität von Nahrungsstoffen, dürften von Einfluss sein auf das Entstehen des einen oder des andern Organes.

c. Die Nahrungsbedingungen, denen die Pflanze vorher ausgesetzt war.

Die Quantität der Assimilate, durch vor- oder nachteilige Wachstumsbedingungen verursacht, könnte auf die Ausbildung von Rhizoiden oder Protonema entscheidend wirken.

Es wirken nun bei jedem Experimente immer verschiedene dieser Bedingungen zusammen, und wollte man für jede Bedingung gesondert die Experimente beschreiben, so würden zahllose Wiederholungen entstehen.

Ich beschreibe die Versuche deshalb nach der Reihenfolge, wie sie mir am übersichtlichsten vorkommt. Den Einfluss jeder Bedingung an und für sich will ich dann in einem letzten „allgemeinen" Abschnitt besprechen.

Ich mache folgende Einteilung:

I. Versuche mit Pflanzen in horizontaler Lage.
  a., b., c., etc. Verschiedene Nährböden.
    Art der Versuchspflanze.
    a., b., etc. Beleuchtet und verdunkelt.
  1., 2., 3., etc. Ganze Pflanzen und verschiedene Teile.
  Anhang: Wiederholung einzelner Versuche mit vorher in abnormalen Bedingungen cultivierten Pflanzen.

II. Versuche mit Pflanzen in vertikaler Stellung.
  a., b., c., etc. auf verschiedenen Substraten.
    a., b., etc. Der abwärts oder aufwärts gekehrte Pol eingesteckt.
    Art der Versuchspflanze.

Digitized by Google

A., B., Stellung aufrecht oder umgekehrt.
1., 2., 3., etc. Ganze Pflanzen und verschiedene Teile.
III. Versuche mit primärem Protonema.

In diesen Versuchsreihen treten die obengenannten inneren und äussern Bedingungen in verschiedener Combination auf.

Methodisches.

Die Methode ist bei diesen Untersuchungen sehr einfach. Im Anfang von jeder Versuchsreihe will ich näheres angeben, doch hier will ich erwähnen, dass die zu untersuchenden Pflanzen cultiviert wurden in einer Nährlösung oder auf verschiedenen mit derselben getränkten Nährböden.

Die Nährflüssigkeit hatte die Zusammenstellung wie sie von der Crone[1]) angibt, nämlich:

1 Gr. Kaliumnitrat, 0.5 Gr. Calciumsulfat, 0.5 Gr. Magnesiumsulfat, 0.5 Gr. einer Mischung (1 : 1) von Ferrophosphat und tertiärem Calciumphosphat, nicht in 1 L. destillierten Wassers (wie die Angabe), sondern in 4 L. gelöst. Die stärkere Lösung zeigte sich für einige Moose unbrauchbar.

Wenn nicht näheres angegeben, so ist immer, wenn von „in Flüssigkeit cultiviert" die Rede ist, diese Nährlösung gebraucht.

Die Gefässe, in denen die Cultur stattfand und die Nährböden wurden nicht sterilisiert. Versuche zeigten, dass dieses Verfahren überflüssig ist. In den warmen Monaten: Juni, Juli und August, trat eine Invasion van niedern Organismen, speziell von Cyanophyceen und farblosen Infusorien auf, die während einiger Zeit die Cultur unmöglich machten. Während der übrigen Jahreszeit hat man keine Schwierigkeiten,

---

[1]) G. von der Crone. Ergebnisse von Untersuchungen über die Wirkung der Phosphorsäure auf die höhere Pflanze und eine neue Nährlösung. Diss. Bonn 1904.

Digitized by Google

wenn jede Woche frisch gemachte Nährlösung aufgegossen wird. Nur in den Culturen, denen Zucker zugefügt wurde, waren die Moose gewöhnlich nach zwei Wochen ganz von Bakterien und Hefen umsponnen.

Versuche mit Hinzufügung von Thymol und anderen Antiseptica in verschiedenen Konzentrationen, erwiesen die Moose weit empfindlicher als die Bakterien.

Die Versuchspflanzen.

In Betracht kamen nur solche Moose, welche überhaupt regenerieren und welche möglichst rasch regenerieren, damit die Gefahr für Verunreinigung möglichst klein wird.

Als ungeeignet erwiesen sich auch Arten mit bleibendem Wurzelfilz.

Am meisten geeignet zeigte sich:

1. *Hookeria quadrifaria* (*Pterygophyllum* Smith eine neuseeländische Art, welche in grösseren Quantitäten auf *Dicksonia antarctica Labill* und *Cyathea medullaris Sw.* im Münchener botanischen Garten vorkam. Als Schattenpflanze musste man sie im diffusen Licht cultivieren. Eine Eigentümlichkeit dieser Art, (welche auch andern Arten eigen ist, z.B. der europäischen verwandten Art *Pterygophyllum* (*Hookeria*) *lucens* (L.) Brid), welche die Regenerationserscheinungen noch interessanter macht, ist die Bildung von Brutknospen an den Blättern aus einer bestimmten Initialenschicht, nämlich der dritten oder vierten Zellreihe vom Rande. Diese Brutknospen sind Protonemafäden, die sich allmählich zu Brutorganen, mit Haken versehen, umbilden. (Abbildung bei Goebel.[1]) Speziell im Herbst findet man die Blätter mit einem Saum von Brutorganen bedeckt.

---

1) Goebel. Beiträge zur Kenntniss australischer und neuseeländischer Bryophyten. Flora 1906. fig. 49.

Digitized by Google

2. *Fissidens taxifolius* (L) Hedw.
   Fissidens adiantoides (L) Hedw.
3. *Tortula muralis* (L) Hedw.
4. *Funaria hygrometrica* (L) Sibth.
5. *Dicranella curvata.* (Hedw.) Schimper
6 *Ceratodon purpureus* (L) Brid.
7. *Mnium undulatum* (L) Weis.
   Mnium rostratum Schrad.
8. *Polytrichum commune.* L.
9. *Catharinea undulata.* (L)
10. *Aulacommium palustre* (L.) Schwägr.

ABSCHNITT II.

BESCHREIBUNG DER VERSUCHE.

I. Versuch mit Pflanzen in horizontaler Lage.

Die Cultur fand statt in Petrischalen. — Das Substrat bestand aus:

a. Filtrierpapier mit Nährlösung getränkt.

HOOKERIA QUADRIFARIA.

CULTUREN BELEUCHTET.

1. Unverletzte Pflanzen

entwickeln am untern Pol direkt aus dem Stamme zahlreiche neue Rhizoiden, die sich durch die dünne Schicht des Papiers hindurchbohren und dann gezwungen sind sich an dessen Unterseite auszubreiten. Protonemaäste entstehen nur vereinzelt und namentlich an Rhizoiden, deren Spitzen abgebrochen waren [1]) beim Loslösen aus dem Substrat.

---

1) Siehe uber die Morphologie der Protonemaentwicklung in Abschnitt III.

Digitized by Google

Ausserdem ergrünen verschiedene Rhizoiden, das heisst, die stäbchenförmigen Leucoplasten nehmen eine grüne Farbe an; dabei bleiben aber die Wände braun und die Scheidewände schief. Die Endknospe ist stark gewachsen, hat sich aufgerichtet und ihre Blätter nach allen Seiten ausgebreitet. Manchmal entstehen an der Aufrichtungsstelle Rhizoiden.

2. Pflanzen, deren Vegetationspunkt entfernt ist.

In diesem Falle entwickelt sich eine grosse Menge Protonema aus den Rhizoiden. Alle Seitenzweige entwickeln sich als echtes Protonema, und auch der Stamm selbst produziert keine Rhizoiden mehr, sondern Protonema. Auch die apicale Schnittfläche erzeugt Protonemafäden, doch in viel geringerem Masse wie der basale Teil. Nach ein bis zwei Monaten Cultur sieht man öfters, dass wieder Rhizoiden sich zu entwickeln anfangen, und dann hauptsächlich aus dem Stamme, bald mehr in der Mitte, bald den Polen genähert, doch immer nur dann, wenn Seitensprossen ausgetrieben haben. Nie beobachtete ich, dass die jungen Sprosse selbst Rhizoiden erzeugten, so wie wir das für andere Arten sehen werden. Auch die Blattinitialen können in diesem Falle zu Rhizoiden auswachsen, während sie in der ersten Zeit auch nur Protonema erzeugen.

3. Entfernen wir den Wurzelpol,

so wächst entweder die Endknospe sehr stark, während sich an der basalen Schnittfläche sehr wenig Protonema, mitunter auch ein einzelnes Rhizoid entwickelt, oder (aus einem unaufgeklärten Grund) die Pflanze zeigt kein weiteres Wachstum; dann wächst aber in sehr üppiger Weise Protonema aus dem basalen Pol hinaus, welches dann auch machmal zur Brutknospenbildung übergeht.

4. Vegetationspunkt und Wurzelpol entfernt.

Beide Pole, der basale und der apicale erzeugen eine Menge

Digitized by Google

von Protonema, jedoch ist der erste bei weitem der bevorzugte. Auch hier hat Seitensprossentwicklung wieder Rhizoidenbildung über den ganzen Stamm zur Folge. Am basalen Pol entwickeln sich anfänglich öfters Übergangsformen zwischen Rhizoiden und Protonema: es sind das namentlich Fäden mit schiefstehenden Scheidewänden, sehr schwach gebräunten Membranen und grossen Chloroplasten. Auch andere Kombinationen der verschiedenen Merkmale können vorkommen: schliesslich entsteht aber nur noch Protonema.

Einen etwas anderen Verlauf hat die Regeneration in den oben beschriebenen Fällen, wenn die Pflanzen, mit denen man experimentiert, mit Brutknospen bedeckt sind. Die Menge Protonema, die nach Entfernung von einem oder beiden Polen gebildet wird, ist eine bedeutend grössere; Seitenknospen entwickeln sich fast nie. Bei vielen Exemplaren bedeckt sich auch der Stamm mit zahlreichen Brutknospen und die bisher noch ruhenden Blattinitialen treiben aus.

Auch bei unverletzten Pflanzen unterbleibt manchmal die Entwicklung der Endknospe und dann bilden auch die Rhizoiden ein grosses Quantum Protonema. Es scheint die ganze Pflanze in besonderer Weise dazu disponiert zu sein, Protonema zu erzeugen.

5. Stämme, deren Blätter entfernt sind,
mit oder ohne Wurzelpol und Vegetationspunkt treiben eine Unmenge von Protonemafäden, hauptsächlich um die Anlagen der Seitensprosse herum. Letztere entwickeln sich nicht oder nur sehr wenig. Oft entfaltet sich das erste Blättchen, welches man zwischen den Protonemabüscheln hervorragen sieht. Lässt man hie und da ein Blatt sitzen, so treibt auch dieses in ausgiebiger Weise Protonema. Der basale Pol ist wieder der bevorzugte.

6. Isolierte Rhizoiden,
das heisst, das untere Stammesstück mit den zugehörigen

Digitized by Google

Rhizoiden werden gesondert cultiviert. Ungefähr die Hälfte der untersuchten Exemplare starb mir ab, doch aus den übrigen entwickelte sich Protonema. Neue Rhizoiden sah ich nicht entstehen.

7. Isolierte Blätter.

In der Natur findet man meistens die Initialen zu Brutorganen ausgewachsen; seltener beobachtet man Protonemafäden oder Rhizoiden. In den oben beschriebenen Culturen, wo auch die Blätter mit dem Stamm in Verbindung waren, entwickelten sich hauptsächlich Brutorgane. Abgetrennte Blätter in der Cultur bilden dagegen nur Protonemafäden aus den Initialen. Nur ausnahmsweise fand ich einen Faden, der sich in ein Brutorgan umgewandelt hatte. Nach vier oder fünf Wochen schien es mir, dass die Protonemafäden sich in Rhizoide verwandeln wollten; sie zeigten nämlich eine deutliche Bräunung der Membrane. Bei näherer Untersuchung stellte es sich aber heraus, dass diese Bräunung nur der Anfang des Absterbens war.

Es fragte sich nun, ob nach Entfernung der Initialen das übrige Blattgewebe Neubildungen zu produzieren im Stande sei. Die äussersten, Initialen enthaltenden Zellschichten wurden vorsichtig entfernt, und nun gingen die Leitzellen des Blattes zur Protonemabildung über und zwar sehr oft reichlich an der Basis. (Fig. 3.) Den Mittelnerv zu entfernen und das zwischenliegende Blattgewebe weiter zu cultivieren, gelang nicht. Die Stücke sind wahrscheinlich zu klein.

Betrachten wir schliesslich noch das Schicksal des *Regenerationsprotonemas*, so finden wir, dass dasselbe in keinem Falle eine Knospe erzeugt hat. Länger als zwei Monate lässt es sich nicht in Cultur behalten, offenbar sind die Bedingungen für eine dauernde Cultur ungünstig. Auch auf den Baumfarnen fand ich öfters Stämmchen, die Protonema erzeugt hatten, oder ausgekeimte Brutknospen; doch junge Pflanzen hatten sie nicht gebildet.

Digitized by Google

Culturen verdunkelt.

Gänzlich verdunkelte Pflanzen. Die Petrischalen werden mit schwarzem Papier überzogen.

An keiner der Versuchspflanzen tritt eine nennenswerte Produktion von Rhizoiden oder Protonema auf; viele zeigen jedoch ein Austreiben von Seitenprossen, die aber schliesslich doch mit dem Mutterstamme zu Grunde gehen.

Teilweise verdunkelte Pflanzen.

Spannen wir schwarzes Papier über den basalen Pol, so fährt dieser in allen Fällen (sei es, dass die Spitze des Stammes abgeschnitten ist oder nicht) fort, Rhizoiden zu produzieren. Nicht also der apicale Pol, der, wenn er verdunkelt wird, keine Neubildungen produziert. Ein Paar Mal zeigten sich Zwischenbildungen, niemals echte Rhizoiden. Verdunkelt man einen Pol, der vorher Protonema entwickelt hatte, so stirbt dieses unter dem Papier ab. In keinem Falle bildet es neue Zweige; ist der Pol ein basaler, so erzeugt wohl der Stamm selbst neue Rhizoiden.

Isolierte Stämme, Blätter und Rhizoiden regenerieren nicht im Dunkeln.

TORTULA MURALIS.

Culturen beleuchtet.

1. Unverletzte Pflanzen.

Beim Abspülen der Erde von den Tortulapflänzchen wurden sehr oft sämtliche Rhizoiden mit abgerissen. Um ein intaktes Rhizoidensystem zu bekommen, kann man die Pflanze einige Zeit in Wassercultur züchten, mit verdunkeltem Rhizoidenteil. Gewöhnlich haben sich nach 10—12 Tagen genügend Rhizoiden gebildet. Zwar zeigen die Rhizoiden in Wassercultur nie so feine Verzweigungen wie in der Erde, doch für unsere Zwecke genügt es. Cultiviert

Digitized by Google

man solche Pflanzen auf Filtrierpapier am Lichte weiter, so wird nur hie und da ein Seitenzweig von den Rhizoiden als Protonema ausgebildet; die Hauptmasse der neugebildeten Fäden hat Rhizoidnatur, doch immer nur dann, wenn die Pflanzen ein kräftiges Wachstum zeigen. Stellt die Endkospe ihr Wachstum ein und übernimmt keine Seitenknospe ihre Rolle, so entwickeln sowohl die Rhizoiden, als auch der ganze Stamm sehr viel Protonema.

Die Rhizoiden zeigen vielfach „Ergrünung", behalten aber dann ihre braune Farbe und ihre schiefen Scheidewände bei.

2. Schneidet man einen der beiden Pole ab, so ist für *Tortula* zu bemerken, dass die Protonemabildung über die ganze Stammesoberfläche erfolgt. Es ist kein Unterschied zwischen basalem, apicalem Pol und Stammesmitte zu beobachten. An den Polen erfolgt die Neubildung nie an den Schnittflächen, sondern immer etwas davon entfernt und zwischen diesen, den ganzen Stamm bedeckenden Protonemafäden entstehen auch öfters einzelne Rhizoiden.

Ausserdem wachsen Seitenknospen aus, die selbst massenhaft Rhizoiden und nie Protonema bilden. Löst man diese Seitensprosse vorsichtig vom Stamme los, so fahren sie fort Rhizoiden zu bilden wie früher.

Zwischen der Bildung von Protonema und von Seitentrieben am Mutterstamm ist eine sehr deutliche Correlation zu bemerken.

Nebenbei will ich hier noch das Auftreten von Brutknöllchen in zwei Culturen erwähnen. Es waren kräftig wachsende Stämmchen, die in den Blattachseln Brutknöllchen erzeugten. Diese Bulbillen entstanden auf einer Protonema-Zelle, die nach Correns [1]) erst nachträglich

---

1) Correns. l. c. pag. 388.

Digitized by Google

zwischen den Stamm und der umgebildeten Seitenastanlage (das Knöllchen) eingeschoben wird. Auch an den Rhizoiden treten dieselben Organe auf und zwar an den dem Lichte ausgesetzten. Dieses sei bemerkt im Gegensatz zu Sachs' Angabe. Dieser Forscher fasst die Gebilde auf als umgebildete Knospen, die an unterirdischen Protonemaäste entstehen und sich erst am Licht wieder weiter entwickeln.

Es gelang mir nicht die Bedingungen herauszufinden, die die Knöllchenbildung veranlassen. Die Culturen, in denen sie auftrat, waren einige Zeit ausgetrocknet gewesen, doch es gelang mir nicht durch absichtlich veranlasste Trockenheit wieder Knöllchen hervorzurufen. Es scheint überhaupt sehr fraglich, ob man sie wirklich als Brutorgane auffassen darf. Correns betrachtet sie als Reservestoffbehälter. Auch die Bulbillen in meinen Culturen konnte ich nicht zur Keimung bringen.

Besonders reichlich ist auch die Protonemabildung der entblätterten Stämme oder Stammstücke, doch ist hier die Production um die Anlagen der Seitenknospen herum nicht (wie bei Hookeria) lokalisiert. Die Blätterregeneration ergibt nur Protonema, besonders reichlich aus dem basalen Teil.

Das Regenerationsprotonema zeigt gewöhnlich einen Zerfall. Es bilden sich dann intercalar Trennungszellen, die manchmal den ganzen Faden in einzelne Zellen oder in perlschnur-artige 3. oder 4. zellige Bruchstücke auflösen. (Fig. 8).

Einige Male traten Knospen auf, die sich zu jungen Pflanzen entwickelten. Es scheint für *Tortula*, sowie für *Hookeria* das Filtrierpapier kein günstiger Nährboden zu sein.

Culturen verdunkelt.

Ganze Stammstücke fahren fort am unteren Pol normal Rhizoiden zu bilden. Wenn bei Vegetationspunktsentfer-

Digitized by Google

nung auch der Stamm zur Regeneration übergeht, so entwickeln sich aus demselben Zwischenbildungen, bald gerad-wändige, bald schief-wändige Fäden mit stäbchenförmigen Leucoplasten; manchmal aber auch mit ziemlich stark grünen Chloroplasten. Jedenfalls sind sie sehr verschieden von den am untern Pol sich bildenden Rhizoiden; sie machen den Eindruck, als ob sie zu Protonema bestimmt wären, sich aber wegen Lichtmangels nicht ausbilden könnten.

Die verdunkelten, abgetrennten Blätter treiben anfänglich ebenso viele Regenerationsfäden, wie die beleuchteten, doch in der zweiten oder dritten Woche hört die Produktion gewöhnlich auf. Die Fäden haben blassgrüne Chloroplasten, doch geradestehende Querwände und die Membranen bleiben farblos. Echte Rhizoiden entwikkeln sich nie.

FISSIDENS ADIANTOIDES UND TAXIFOLIUS.

(Die Resultate sind für beide Arten dieselben.)

Culturen beleuchtet.

1. Unverletzte Pflanzen fahren fort Rhizoiden zu bilden am basalen Pol. Einzelne Seitenzweige entwickeln sich jedoch immer zu Protonema. Ausserdem entwickeln sich aber büschelweise in verschiedenen Blattachseln mächtige Rhizoiden. Die Endknospe wächst weiter, vertikal in die Höhe.

2. Entfernt man den Vegetationspunkt, sowie den basalen Pol, so wachsen aus letzterem und aus den Blattachseln (wie aus der apicalen Schnittfläche) immer zuerst Rhizoiden heraus. Letztere sind zwar viel kräftigere Organe als die ursprünglichen Rhizoiden der Pflanze, doch sie haben (siehe Fig. 10) braune Membranen, schiefe Querwände und längliche, doch grüne Chloroplasten. Aber

Digitized by Google

immer sind die Seitenzweige und öfters auch die Verlängerung dieser Rhizoiden als Protonema ausgebildet.

Wohl möchte ich noch hinzufügen, dass diese Regenerationsrhizoiden bedeutend dicker sind, als diejenigen, welche ursprünglich an der Basis der Pflanze vorkommen.

In der Natur findet man an den Fissidensstämmchen stellenweise (niemals axillär) Büschel von winzigen Rhizoiden, die sehr dünn und sehr kurz sind und wahrscheinlich Haftorgane repräsentieren, mit welchen die Pflanze sich in der Erde festheftet. Letztere Organe konnte ich nicht dazu zwingen, in Protonema überzugehen. Entfernung des Vegetationspunktes und Beleuchtung hatten keinen Erfolg: die Rhizoiden blieben unverändert.

Das Auswachsen von Seitenknospen ist äusserst selten bei Fissidens und wenn letzteres stattfindet, so bewurzeln die Seitentriebe sich, ohne dass der Hauptstamm wieder zur Rhizoidenbildung zurückkehrt, wie dieses bei Hookeria der Fall war.

Entblätterte Stämme
zeigen eine ausserordentlich reiche Protonemabildung, denen auch wieder Rhizoiden vorangehen. Immer sind diese Gebilde beschränkt auf die Blattachseln.

Abgetrennte Blätter
regenerieren nicht.

Isolierte Rhizoiden
zeigen eine geringe, doch deutliche Protonemabildung.

Das Regenerationsprotonema
zeigt Knospenbildung nach sechs Wochen.

Cultur verdunkelt.

Die unverletzten Pflanzen entwickeln aus den Blattachseln Rhizoiden. Dasselbe zeigen die auf beiden Seiten geschnittenen. Der basale Pol bildet in keinem Fall etwas neues: die ganze Regeneration ist sehr mangelhaft.

Digitized by Google

Verdunkeln wir Regenerationsprotonema, so gehen diese Fäden nie in Rhizoiden oder Uebergangsgebilde über. Wohl entstehen die zwei letztgenannten aus dem Stamm: der verdunkelte Protonemaast selbst ist nicht zu weiterm Wachstum fähig.

CERATODON PURPUREUS.

Diese Art stimmt in ihren Regenerationsverhältnissen durchaus überein mit Tortula muralis. Nur ist die Seitenknospenentwicklung überwiegend. Protonema wird in geringerem Masse erzeugt. Letzteres bildet typische Brutorgane, die an Anzahl die Knospenbildung bei weitem übertreffen. (Fig. 13.)

Zwischen dem Regenerationsprotonema finden sich öfters Rhizoiden. Keine von beiden Bildungen ist an bestimmte Stellen gebunden; auch fängt die Produktion nicht an den Polen an.

Isolierte kräftig wachsende Seitensprosse zeigen wieder eine Produktion von Rhizoiden, ohne jegliche Protonemafäden.

Dagegen verhalten sich die am Regenerationsprotonema entstandenen Knospen, die an ihren zuerst enstandenen Rhizoiden zahlreiche gedrungene, stark verzweigte Protonemaäste bilden, verschieden.

DICRANELLA CURVATA.

Sowohl geköpfte, als nicht geköpfte Exemplare treiben Seitenknospen aus, die Rhizoiden bilden. Am Stamme unterbleibt fast jede Protonemabildung. Hie und da entsteht ein Faden, ausserdem vereinzelte Rhizoiden. Die schon vorhandenen ergrünen.

Entblätterte Stämme erzeugen etwas mehr Protonema, aber immer gemischt mit Rhizoiden.

Digitized by Google

Das Protonema bildet Knospen.

Im Dunkeln treten nur sehr spärliche Neubildungen auf und in diesem Falle sind die auftretenden Rhizoiden über den Stamm verbreitet. Die abgetrennten Blätter regenerieren nicht.

FUNARIA HYGROMETRICA.

Wenn man diese Art zuerst im Dunkeln cultiviert, damit unverletzte Rhizoiden entstehen, gehen letztere, wenn dem Licht ausgesetzt, nur in geringem Masse zur Protonemabildung über. Die Leucoplasten ergrünen, doch die neugebildeten Querwände sind gerade, und die Wände bräunen sich nach einiger Zeit. Nach längerer Culturzeit, (die ersten Resultate ergeben sich schon nach 4—5 Tagen) gewöhnlich nach 3 Wochen, gehen aber die nach allen Seiten sich ausbreitenden Rhizoiden zur Knospenbildung über, d. h. es bildet sich seitlich ein Protonemaast, der zu einer Knospe auswächst. Dies geschieht aber nur dann, wenn der Stamm-Vegetationspunkt sein Wachstum eingestellt hat und wenn im allgemeinen die Culturbedingungen schlechter geworden sind. Ausnahmen gibt es hier auch: es waren einige Exemplare mit kräftig wachsender Spitze, die an den Rhizoiden zahlreiche neue Pflanzen erzeugten.

Cultur verdunkelt.

Verdunkelte Exemplare treiben am Stamme echte Rhizoiden und bleiche Übergangsgebilde.

Die Blätter, wenn abgetrennt, treiben immer blassgrüne Protonemaäste. Niemals konnte ich da Übergangsgebilde beobachten.

POLYTRICHUM VULGARE

scheint die Fähigkeit, Protonema zu bilden, gänzlich ab-

Digitized by Google

zugehen, wenn man sie auf Filtrierpapier legt. Auch neue Rhizoiden entwickeln sich nicht. Ebenso verhält sich:

CATHARINEA UNDULATA.

Dieses Moos zeigt nur eine sehr deutliche Ergrünung der Rhizoiden. (fig. 14). Auch:

DICRANUM SCOPARIUM

verhält sich wie beide letztern. Stammeszerstücklung hat keine Protonemabildung zur Folge; neue Rhizoiden werden nicht erzeugt und die Blattregeneration ist eine sehr spärliche: am Licht entsteht hellgrünes Protonema, im Dunkeln blassgrünes, doch immer mit geraden, farblosen Scheidewänden. Als letztes in der Versuchsreihe will ich erwähnen:

MNIUM UNDULATUM und ROSTRATUM,

(CULTUREN BELEUCHTET.)

weil diese Moose die Eigentümlichkeit zeigen, dass ihr Protonema und ihre Rhizoiden identisch ausgebildet sind.

Legt man unverletzte erwachsene Pflanzen auf Filtrierpapier, so treiben dieselben am basalen Pol einzelne neue Rhizoiden.

Entfernt man den Vegetationspunkt, so unterbleibt die Protonemabildung; wohl treiben Seitenknospen aus, doch wenn die Blätter entfernt sind, tritt kein Protonema hervor. Es fragte sich nun, ob nicht der alleroberste Stammesteil noch fähig sei Neubildungen zu erzeugen. Es scheint wirklich noch eine embryonale Gewebezone da zu sein; denn wenn man die alleräusserste Spitze abschneidet, so wachsen Fäden aus dem Stamme heraus, die man auf den ersten Blick für Rhizoiden halten

Digitized by Google

würde: die Wände sind braun, die Querwand schief, die Chloroplasten zwar rundlich, aber schwach grün, nur fehlen die für die Rhizoiden so charakteristischen, farblosen, mit Plasma erfüllten Spitzen.

Vergleichen wir mit diesen die Rhizoiden so wie wir sie in der Natur an der Pflanze finden, so fällt uns im allgemeinen nur die geringere Dicke und geringere Verzweigung der letzteren auf. Die Seitenzweige der Regenerationsfäden sind im allgemeinen kurz und haben einen gebuchteten und geknickten Verlauf.

Sehr oft ist aber der Unterschied sehr undeutlich.

In viel höherem Masse, als erwachsene Pflanzen, zeigen junge isolierte Seitensprosse und Ausläufersprosse, die noch in kräftigem Wachstum begriffen sind, die Regeneration. Ist der Vegetationspunkt entfernt worden, so entstehen diese „Protonemen" an den beiden Polen, später auch aus der Mitte des Stammes; wenn aber die Pflanze unverwundet war, so wächst dieselbe in die Höhe, produziert dann in verschiedenen Blattachseln ein Büschel von Organen, die sich von den oben erwähnten „Protonemen" dadurch unterscheiden, dass sie viel schlanker sind, weder Leucoplasten noch Chloroplasten aufweisen und ein begrenztes Wachstum zeigen.

Ich cultivierte einen Teil der Pflanzen unter Nährlösung; bei einem andern Teil steckte ich diese Organe in Sand ein: sie entwickelten sich nicht weiter. Vielleicht sind es ähnliche Gebilde, wie die „Haftrhizoiden" von Fissidens. Jedenfalls will ich sie als Rizoiden bezeichnen.

Nach einer Culturzeit van 7-8 Wochen scheinen auch die Culturbedingungen für *Mnium*pflanzen weniger gut zu werden. Die neuen Blätter werden kleiner und kleiner, schliesslich ganz rudimentär. Sehr oft legt sich zuerst der Spross und heftet sich mit Rhizoiden am Substrate fest und krümmt dann das dünne, rasch wachsende Ende wieder aufwärts. Der Habitus ist genau derjenige der Ausläufer,

Digitized by Google

denen wir häufig an den Spitzen der Mniumstämmchen begegnen. (fig. 16.)

Da die Pflanze unmöglich an Lichtmangel leiden konnte, so ist sehr wahrscheinlich Nahrungsmangel hier die Ursache der Ausläuferbildung, was um so mehr plausibel erscheint, wenn wir sehen dass in einer Topfculfur in Gartenerde die Bildung unterblieb. Es gelang mir nun nicht die Ausläufer in gutem Humusboden zur Bildung von normalen Blättern zurückzubringen. Die Pflanzen waren leider schon so sehr geschwächt, dass sie bald zu Grunde gingen.

Die Blätter von Mnium undulatum regenerieren sehr leicht. Es bildet sich wieder nur dieses „Protonema" mit Rhizoidennatur, dass so ausserordentlich wenig Chlorophyll behält. Die Fäden entstehen zuerst hauptsächlich aus den Nerven, nachher ebenso reichlich aus dem Blattgewebe selbst und zwar auf beiden Flächen, sei es dass die morphologische Oberseite oder die morphologische Unterseite die Kontaktfläche ist.

Isolierte Rhizoiden regenerieren nicht.

Das aus den Blättern entstandene „Protonema" schreitet viel eher zur Knospenbildung über, als dasjenige, das aus dem Stamme seinen Ursprung nimmt. Das blattbürtige Protonema breitet sich als ein brauner Rasen um das Blatt herum aus und bildet eine ganze Kolonie von jungen Pflanzen (fig. 15). So zählte ich einmal 23 Pflanzen, die aus einem Blatt ihren Ursprung genommen hatten.

Letztere entsenden zahlreiche schmale Rhizoiden, so, wie wir sie an der Pflanze ursprünglich antreffen. Die meisten haben keine Spur von Chlorophyll und waren jedenfalls in dieser Hinsicht vom Blattprotonema zu unterscheiden.

Culturen verdunkelt.

Vergleichen wir mit diesen Versuchen eine Reihe von im Dunkeln angestellten Versuchen so finden wir, dass

Digitized by Google

im Anfang die Regeneration in derselben Weise vor sich geht, wie in den beleuchteten Culturen. Nach 15 Tagen finden wir aber einen deutlichen Unterschied. Wohl haben sich in beiden Fällen Knospen entwickelt, sogar in den Dunkel-Culturen noch früher wie in den beleuchteten, doch es geht im Dunkeln das Protonema bald zurück und die jungen Pflanzen entwickeln keine, oder rudimentäre Blätter. Die Fäden sind aber in Dunkel- und Lichtcultur identisch.

b. Cultur auf Sand.

Obwohl Sand ein mehr natürliches Substrat ist als mit Nährlösung getränktes Fliesspapier, so ist doch aus praktischen Gründen der grössere Teil der Versuche auf letzterem Substrat angestellt worden; erstens einmal, weil auf Sand viel leichter Verunreinigung durch Algen auftritt, zweitens, weil auf Filtrierpapier alle Pflanzenteile dem Licht gleichmässig ausgesetzt sind und sich nicht, wie das im Sand sehr leicht möglich ist, einzelne Teile dem Licht entziehen können indem sie sich in den Sand einbohren. Es wurden die Untersuchungen angestellt mit:

Hookeria quadrifaria
Fissidens adiantoides
Mnium undulatum
Tortula muralis.

In allgemeinen sind die Resultate nicht verschieden von den vorigen. Wo sich auf Filtrierpapier Rhizoiden bildeten, bilden sie sich auch auf Sand; dasselbe kann auch gesagt werden vom Protonema. — Die Rhizoidenentwicklung ist jedenfalls üppiger auf Sand. Wenn Protonemafäden in den Sand eindringen, so werden sie mehr oder weniger blass.

Für die Regenerationsprotonemen ist dieses Substrat entschieden vorteilhafter; denn sie zerfallen in viel geringerem Masse in Brutorgane und produzieren bei Fissidens

Digitized by Google

sogar Knospen. Bei Hookeria unterbleibt die Bildung von jungen Pflanzen wieder gänzlich.

c. Culturen auf Agar-Agar.

Es wurde Agar-Agar in destilliertem Wasser gelöst und der Boden mit Nährlösung feucht gehalten.

HOOKERIA QUADRIFARIA.

Culturen beleuchtet.

Verschieden von den vorigen sind die Tatsachen, die sich aus der Cultur auf Agar--Agar ergeben.

Bei Hookeria konnte ich in keinem einzigen Fall das Entstehen von neuen Rhizoiden constatieren.

Nehmen wir Pflanzen mit oder ohne Vegetationspunkt oder Wurzelpol, Pflanzen, deren Seitenknospen oder Endknospen entwickelt sind oder nicht, es bildet sich in allen Fällen Protonema, das in allen Richtungen den Agarboden durchwächst. Am untern Pol, sei es aus den Rhizoiden, sei es aus dem Stamme selbst, findet die üppigste Protonemabildung statt, die ich überhaupt bei Hookeria beobachten konnte. Auch ist nach 3½ Monaten das Protonema noch nicht zerfallen, sondern es wächst immer weiter. Neue Pflanzen entstehen aber nicht. Am apicalen Pol, wenn die Endknospe abgeschnitten ist, ist die Quantität geringer; ist die Endknospe intakt, so wächst sie vertikal nach oben mit neuen Blättern, die, wenn noch sehr jung, sich schon mit Brutknospen bedecken. Sind letztere Organe schon an den ältern Blättern anwesend, so bilden sie Keimschläuche, die aber nicht wie die Fäden an den Polen das Substrat durchwachsen, sondern ziemlich kurz bleiben. [1])

Der Unterschied in den auf Filtrierpapier und Sand

1) Vergleiche später die Wasserculturen. p. 40.

Digitized by Google

regenerierenden Exemplaren liegt hauptsächlich darin, dass falls sich Seitenknospen entwickeln, der Hauptstamm nicht mehr Rhizoiden erzeugt.

Verdunkelt man nun die untern Pole, indem man diese in ein Reagenzröhrchen mit Agar, das mit schwarzem Papier umhüllt ist, einsteckt, so stellen die Protonemafäden ihr Wachstum ein und gehen schliesslich zu Grunde.

FISSIDENS ADIANTOIDES.

Intakte Pflanzen entwickeln keine neuen Rhizoiden, weder am untern Pol, noch an den verschiedenen Blattachseln, so wie es auf Filtrierpapier die ganzen Pflanzen zu tun pflegen.

Nach Entfernung eines Stammstückes bilden die Rhizoiden Protonema, wie zuvor. Auch hier scheint das Substrat ungeeignet zu sein für die Entwicklung von Rhizoiden.

TORTULA MURALIS.

Es konnte kein Unterschied wahrgenommen werden zwischen der Cultur auf Filtrierpapier oder Sand einerseits und der auf Agar anderseits.

* * *

Vergleichsweise sollten sich hier Wasserculturen dieser Moose anschliessen, so dass im Gegensatz zu den vorigen Versuchen der Kontakt mit festen Teilen ausgeschlossen ist. Diese Experimente lassen sich besser in Zusammenhang mit denen über Polarität beschreiben. Ich verweise desshalb auf Seite 36.

Als Anhang zu diesen Versuchsreihen will ich noch einige Versuche mit Pflanzen erwähnen, die vorher durch die Cultur in kohlensäurefreier Luft abgeschwächt waren.

Digitized by Google

HOOKERIA QUADRIFARIA.

Ein Teil wurde 14 Tage lang in kohlensäurefreier Atmosphäre cultiviert, in einem Exsiccator mit Kalilauge, ein anderer Teil während vier Wochen unter denselben Verhältnissen. Für genügende Feuchtigkeit wurde aber Sorge getragen, auch für weitere günstige Culturbedingungen, indem nämlich die Pflanzen sammt den Baumfarnwurzeln, denen sie aufsassen, in Humuserde gebracht wurden.

In keinem der beiden Fälle war mittelst Jod Stärke nachzuweisen, aber die Farbe der Pflanzen war blasser geworden, sie hatten ein schmächtiges Aussehen.

Diejenigen, die während 14 Tagen ohne Kohlensäure geblieben waren, zeigten aber, nachdem sie in kohlensäurehaltige Luft gebracht worden sind eine Regeneration, die von der oben beschriebenen nicht abweicht.

Die 4 Wochen ohne CO_2 gebliebenen Pflanzen sind teilweise abgestorben, teilweise zeigen sie eine verzögerte Regeneration. Einige Exemplare erholten sich aber, so dass nach zweiwöchiger Cultur die Regeneration qualitativ und quantitativ ihren normalen Verlauf nahm.

MNIUM UNDULATUM.

Die Pflanzen werden teilweise 14 Tage, teilweise 4 Wochen und teilweise 6 Wochen ohne Kohlensäure gestellt. In allen drei Fällen regenerieren ganze Pflanzen, entblätterte Stämme und abgetrennte Blätter in normaler Weise. Lässt man jedoch die Regeneration an vorher abgeschwächten oder normalen Pflanzen in kohlensäurefreier Luft vorsichgehen, so bringen die Pflanzen mit grosser Mühe einige Protonemafäden hervor, die möglichst bald zur Produktion von Knospen übergehen. An den Blätterprotonemen entwickeln sich sogar Pflänzchen, die aber nie einen Cm. Grösse erreichen.

Digitized by Google

Bevor ich zur Beschreibung der Versuche mit Pflanzen in vertikaler Stellung übergehe, sei hier als Uebergang etwas über den Zweck und über die Methodik dieser Experimente mitgeteilt.

In den bisher beschriebenen Versuchen haben wir immer die Pflanzen gelegt, so dass die beiden Stammespole denselben Bedingungen ausgesetzt waren. Es hat sich dabei herausgestellt, dass was Protonema und Rhizoidenbildung anbelangt, bei Hookeria und Mnium die Pole die bevorzugten Stellen für ihre Entstehung sind. (Selbstverständlich ist hier nur von solchen Stücken die Rede, bei denen der Anlass zur Regeneration durch Entfernung eines Teiles an einem der beiden Pole gegeben war.) Die Neubildungen waren immer qualitativ identisch; entstand am basalen Pol Protonema, (sei es an den Rhizoiden, sei es aus dem Stamm) so entwickelte es sich gleichfalls am apicalen Pol, doch in viel geringerer Quantität. Auch am übrigen Stammteil entwickelten sich Regenerationsbildungen, gewöhnlich aber erst viel später. Bei Tortula, Dicranella, Funaria, scheint nur der untere Pol bevorzugt, während der übrige Teil des Stammes sich gleich verhält.

Erfolgt die Regeneration durch Austreiben von Seitensprossen, so ist keine Bevorzugung an bestimmten Blattachseln wahrzunehmen.

Es fragte sich nun, wie verhalten sich die Laubmoose, wenn man sie vertikal in irgend ein Substrat einsteckt; die beiden Pole befinden sich dann unter verschiedenen Bedingungen. Es ist bekannt, dass Stecklinge von höheren Pflanzen in diesem Fall einen qualitativen Unterschied in den Neubildungen an den Polen aufweisen, mit andern Worten, eine Polarität. Ueber diese Erscheinung bei Laubmoosen konnte ich in der Litteratur keine Angaben finden. Correns[1]) gibt an für Stecklinge von Thamnium

1) l. c. pag. 279.

Digitized by Google

alopecurum, dass bei niederliegenden Stammstücken die basale Schnittfläche vor der apicalen bevorzugt ist und dass er an letzterer eine reichlichere Rhizoidenbildung hervorrufen könne, indem er das apicale Ende vertical in Sand einstecke. Es schien hier deshalb von Interesse Versuche über diese Frage anzustellen und ich bediente mich folgender Methoden:

Ich cultivierte die Pflanzen in Cylindergläsern und füllte diese teilweise mit Sand, der mit Nährlösung benetzt wurde. Nachher cultivierte ich nur noch unter Flüssigkeit, (gewöhnlich Nährlösung), weil es sich ergab dass unter diesen Umständen die Regenerationsfäden rascher und in grösseren Mengen austreiben.

Um den apicalen Pol in die Bedingungen des basalen zu bringen ohne die Lage der Pflanze zum Erdcentrum zu ändern, machte ich folgende Einrichtung:

In einen kleinen Erlemeyerkolben (100 ccm. Inhalt) brachte ich etwas Sand, füllte den Kolben weiter mit Nährlösung und spannte ein Stück Gaze von grosser Maschenweite über die Oeffnung. Beim Umkehren kann keine Flüssigkeit herauslaufen und es sinkt der Sand in den Hals des Kolbens. Wir haben also in dem umgekehrten Kolben, von unten angefangen: Sand, (in dem Halse) Nährlösung und eine Luftschicht. Die Stecklinge brachte ich mit dem obern Pol durch die Gaze in den Sand hinein und der umgedrehte Erlemeyerkolben, aus dem also die Stecklinge mit der Basis hinunter hängen, brachte ich in dieser Lage in ein Cylinderglas in dessen Raum also die Stämmchen frei hervorragen. Das Cylinderglas wurde mit Nährlösung gefüllt bis zur Oeffnung des Kölbchens. Die Stecklinge sind dann mit dem apicalen Pol in Sand eingesteckt; der übrige Teil ist unter Wasser und die Lage zum Erdcentrum ist eine aufrechte geblieben. Versuche in dieser Weise vorgenommen sind also vollkommen vergleichbar mit denjenigen, bei welchen die Pflanzen, mit dem basalen

Digitized by Google

Pol in Sand eingesteckt, unter Wasser cultiviert wurden. Daneben kann man dann die Bedingungen für beide Pole gleich machen, indem man in den Erlemeyer bloss Nährlösung und keinen Sand hineinbringt. Die Stecklinge sind dann auf ihrer ganzen Länge beleuchtet und in Wasser getaucht. Will man den Teil der in den Kolben hineingesteckt ist verdunkeln, so spannt man schwarzes Tuch über die Oeffnung und klebt schwarzes Papier um den Kolben.

II. Versuche mit Pflanzen in vertikaler Lage.

a. Cultur auf Sand.

a. Pflanzen, deren nach unten gekehrter Pol in Sand eingesteckt ist.

HOOKERIA QUADRIFARIA.

A. Stellung aufrecht. (der basale Pol ist der eingesteckte.)

Die Versuche wurden im Frühjahr angestellt; daher wiesen die Pflanzen keine Brutknospen auf.

1. Unverletzte Pflanzen.

An der Basis treten zahreiche neue Rhizoiden auf. Der übrige Teil des Stammes bleibt ohne Regenerationsfäden. Nur entwickeln sich neue Rhizoiden.

2. Nach Entfernung der Spitze

bildet der apicale Pol Protonemafäden, die zwar kurz bleiben (noch kürzer bleiben sie, wenn in feuchter Luft, statt in Wasser cultiviert wird) jedoch sehr regelmässig auftreten ohne vorhergehende Zwischenbildungen. (Fig. 17.) Brutknospenentwicklung tritt nicht immer auf.

3. Pflanzen mit entfernter Spitze und entferntem Wurzelpol.

Regenerieren wie die Stecklinge im Falle 2.

4. Entfernung des Wurzelpoles,

Ergibt dasselbe Resultat wie unverletzte Pflanzen.

Digitized by Google

B. Stellung umgekehrt. (Der apicale Pol eingesteckt.)

Cultiviert man dagegen die Stämmchen in umgekehrter Lage so ergibt sich für:

1. Unverletzte Pflanzen.

Die eingesteckte Spitze wächst weiter und krümmt sich aus dem Sande hinaus, bildet Rhizoiden aus dem Stammesteile, der mit dem Sande in Berührung ist, ja, sogar die eingesteckten Blätter erzeugen Rhizoiden. Die Rhizoiden am basalen Pol bringen spärlich Protonema hervor. Entfernt man den Rhizoiden tragenden Teil, so bildet die Schnittfläche in ausserordentlich üppiger Weise Protonemafäden.

Die Quantität von Protonema übertrifft bedeutend diejenige, die aus dem apicalen Pol ihren Ursprung nimmt, wenn dieser aufwärts gekehrt und abgeschnitten ist. Die nicht mit dem Sande in Berührung tretenden Blätter entwickeln Brutorgane oder auch lange Protonemafäden, deren Seitenzweige wieder Brutknospen bilden.

2. Spitze entfernt.

Der apicale, eingesteckte Pol treibt einen Büschel von Rhizoiden; die Blattregeneration ist gleich derjenigen für die unverletzten Pflanzen beschriebenen.

3. Entfernung von Spitze und Wurzelpol ergibt wieder die Bildung von Protonema aus dem basalen aufwärts gekehrten Teil.

Macht man die nämlichen Versuche im Herbst, wenn die Blätter mit Brutknospen überdeckt sind, so treiben letztere in der Nährlösung mächtig Protonema, welches sich der Lichtquelle zuwendet. Die Pflanzen sind von grünen, flottierenden Fäden ganz umgeben.

Dagegen scheinen die Stecklinge jetzt viel mühsamer Rhizoiden zu bilden. Der apicale Pol treibt kaum Rhizoiden, wenn er in Sand eingesteckt wird. Ebenfalls unter-

Digitized by Google

bleibt die Rhizoidenbildung der mit dem Boden in Berührung tretenden Blätter.

Auf den Hookeria-Pflänzchen die auf dem Baumfarn wachsen ist die Brutknospenzahl an den zu oberst stehenden Blättern eine weit grössere, als an den untern. Gewöhnlich haben die letzteren gar keine. Man kann die Blätter aber veranlassen auszutreiben, indem man den obern Stammesteil entfernt. Die untern Blätter erzeugen dann eben so viel Protonema, wie es die oberen tun würden.

4. Entblätterte Stämme.

Treiben massenhaft Protonema (niemals Brutorgane) um die Anlagen der Seitenknospen herum.

Stecken wir den einen Pol ein, der in einer der oben beschriebenen Weisen Protonema gebildet hat, so können wir konstatieren, dass die Fäden farblos werden, und dass sich aus dem eingesteckten Pol neue Rhizoiden entwickeln; doch niemals sehen wir Rhizoiden als Seitenzweige oder als Fortsatz von Protonemaästen entstehen.

Oefters tritt eine Bräunung auf, die von den Scheidewänden ausgeht; doch das Ende ist immer dass die Fäden absterben.

Der Übersichtlichkeit halber gebe ich hier noch ein Schema von den Regenerationsverhältnissen bei *Hookeria*, in vertikaler, sowie in horizontaler Stellung. [1])

---

1) Erklärung zu den Figuren im Text: (siehe nächste Seite).
Einfache Linie ist Rhizoid.
Doppelte Linie ist Protonema.
Punkt ist Brutknospe.

I und II. Pflanzen liegend auf Filtrierpapier.

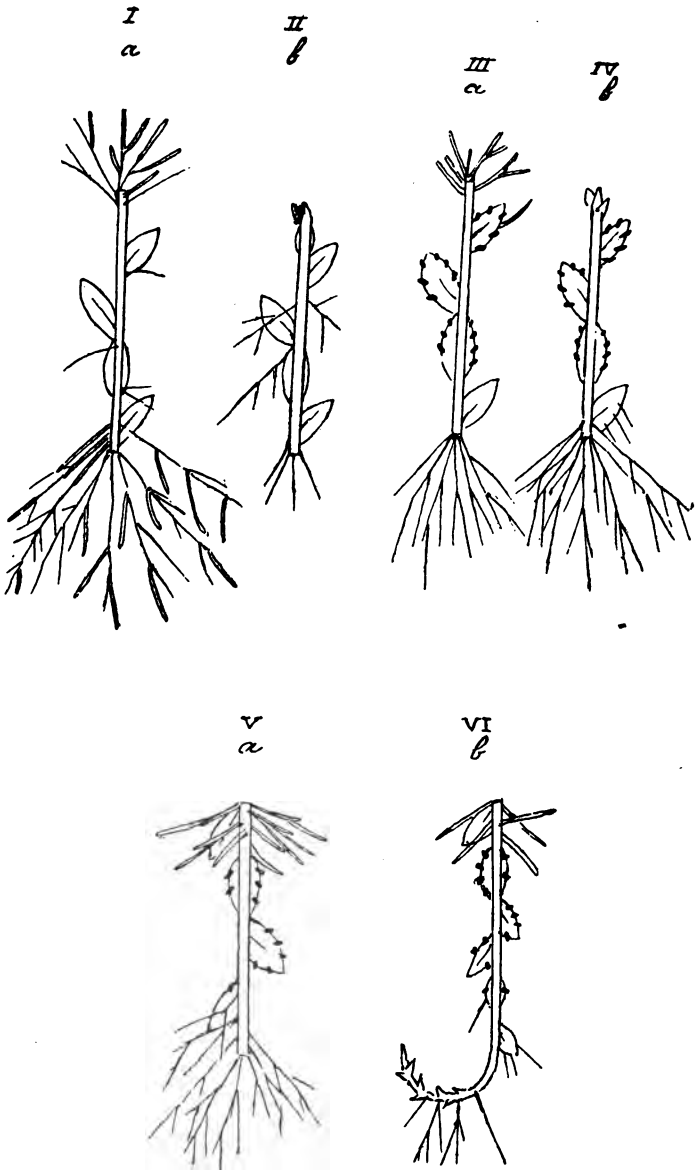
III und IV. Pflanzen basal in Sand eingesteckt (Cultur in feuchter Luft).

V und VI. Pflanzen apical in Sand eingesteckt (Cultur in feuchter Luft).

a. Pflanzen ohne Vegetationspunkt.

b. Pflanzen mit Vegetationspunkt.

Digitized by Google



Digitized by Google

FISSIDENS ADIANTOIDES.

Genau dieselben Versuche sind mit dieser Gattung angestellt worden. Die Resultate sind dieselben wie bei Hookeria. Wieder entstehen basal Rhizoiden und apical Protonema (letzteres reichlicher wie bei Hookeria und immer aus den der Schnittfläche am meisten genäherten Blattachseln), doch bei umgekehrter Lage ist die Protonemabildung (am basalen Pol) bei weitem üppiger. [1]) Es gehen der Protonemabildung nie, wie das bei den auf Filtrierpapier oder Sand liegenden Pflanzen der Fall war, echte Rhizoiden oder Zwischenbildungen voraus. [2]) Bei den Stecklingen ist die Entwicklung von Rhizoiden oft nicht nur auf den eingesteckten Teil beschränkt, sondern erfolgt auch, doch spärlicher, aus etwas höheren Blattachseln; ausserdem sind sie da manchmal als Zwischenformen ausgebildet.

Entfernung der Blätter hat auch hier eine üppige Produktion von Protonema aus den Blattachseln zur Folge.

MNIUM UNDULATUM.

Junge Ausläufersprosse zeigen, sowie bei früheren Versuchen, wieder keinen Unterschied von Rhizoiden und Protonema. Beide Pole produzieren dieselben Gebilde. Nur ist bei dieser Pflanze von Interesse, dass auch die Blätter am Stamm regenerieren und zwar in den Fällen, wo die Spitze abgeschnitten war. Es treiben aber nur die Blätter, die mit dem Sand in Berührung sind „Protonema" aus, es bilden sich ganze Knäuel. [3]) Isolierte Fäden finden

1) Am basalen Pol entstehen die Protonemafäden aus der Schnittfläche.

2) Pag. 17.

3) Die Regenerationsfäden bei Mnium bezeichne ich nur mit dem Namen „Protonema".

Digitized by Google

sich hie und da an den obern Blättern. In zwei Fällen unter den 27 Stämmchen, die ich untersuchte, trat eine äusserst spärliche Rhizoidenbildung an mit Endknospe versehenen Pflanzen auf. In der Mitte des Stammes bildet sich hie und da „Protonema". An natürlichen Standorten fand ich auch verschiedene Exemplare, die an den untersten, den Boden berührenden Blättern „Protonema" entwickelt hatten. In einigen Fällen war die Spitze angefressen worden. Die andern Exemplare cultivierte ich weiter, teilweise in Wasser, teilweise in feuchter Luft, schnitt sogar ein Stück vom Wurzelpol ab, doch der Stamm zeigte kein Endwachstum mehr. Die Endknospe war also nicht mehr entwicklungsfähig, was dieselbe Folge zu haben scheint wie das Entfernen des Vegetationspunktes. Wohl muss ich hinzufügen, dass die Produktion in künstlichen Culturen viel üppiger war wie in der Natur.

FUNARIA HYGROMETRICA und TORTULA MURALIS.

A. Stellung aufrecht.

Beide Pflanzen, die besonders leicht regenerieren, zeigen in der Cultur unter Wasser eine üppige Produktion von Protonema und an letzterem eine Unmenge von jungen Pflanzen. Das Protonema zeigt aber keine poläre Bevorzugung: es tritt über den ganzen Stamm auf. Wächst die Endknospe, (oder eine der dieselbe ersetzenden Seitenknospen) so tritt bedeutend weniger, aber doch noch immer ziemlich viel Protonema hervor.

B. Bei Cultur in umgekehrter Stellung stellt gewöhnlich die Endknospe ihr Wachstum ein, und der aufwärts gekehrte, basale Pol ist dann die bevorzugte Stelle für Protonemabildung.

Auch wiederholte ich den in der Einleitung von Sachs erwähnten Versuch, nämlich das Umdrehen eines Moosrasens. Tortula muralis zeigt in der Stellung wirklich eine

Digitized by Google

üppige Production von Protonema aus den Rhizoiden und bildet eine Menge neuer Pflanzen. Ich hebe hier aber besonders hervor, dass weder die Endknospe, noch die Seitenknospen ausgetrieben haben.

β. Pflanzen, deren nach oben gekehrter Pol in Sand eingesteckt ist.

HOOKERIA QUADRIFARIA.

A. Stellung aufrecht. (Der apicale Pol in Sand eingesteckt)

1. Unverletzte Pflanzen.

Die eingesteckte Endknospe ist nach drei Wochen abgestorben. Etwas unterhalb derselben treibt der Stamm spärliche Rhizoiden; manchmal sind die Querwände gerade und die Leucoplasten ergrünt. Aus den basalen, in Wasser schwebenden Rhizoiden und aus dem basalen Stammteil bildet sich eine Masse von Protonema.

2, Bei auf beiden Seiten abgeschnittenen Pflanzen treibt der basale Pol Protonema, der apicale, eingesteckte, Rhizoiden. Diese entstehen oben aber nur in sehr geringer Quantität; in vielen Fällen entsteht sogar nichts.

B. Stellung umgekehrt. (Der basale Pol in Sand eingesteckt)

1. Ist die Pflanze unverletzt, so treibt nur der basale Pol wenige Rhizoiden, oder auch gar keine.

2. An beiden Seiten abgeschnittene Pflanzen treiben am basalen Pol Rhizoiden, wie es mir vorkam, im allgemeinen etwas mehr, wie die apicalen Pole in aufrechter Stellung, doch jedenfalls viel weniger in Anzahl, als wenn einer der beiden Pole abwärts gekehrt eingesteckt war.

Digitized by Google

FISSIDENS ADIANTOIDES.

A. Stellung aufrecht.

1. Unverletzte Pflanzen.

Am basalen Pol wird gewöhnlich kein, oder nur wenig Protonema gebildet; nie beobachtete ich neue Rhizoiden. Der apicale eingesteckte Teil entwickelt Rhizoiden, die kaum in den Sand hinein dringen, sondern über die Gaze wachsen und an ihrer Spitze öfters gerade Wände und viel Chlorophyll entwickeln.

2. Auf beiden Seiten geschnittene Pflanzen.

Direkt unterhalb des eingesteckten Teiles entwickelt sich auch Protonema; ebenso aus den mittleren Blattachseln, die von Flüssigkeit umgeben sind. Der basale Pol treibt Rhizoiden, in zwei Fällen auch ein paar Protonema-Aste.

B. Stellung umgekehrt.

1. Unverletzte Pflanzen.

Die meisten Exemplare bilden gar nichts; einige zeigen Übergangsgebilde aus Blattachseln, die mit der Gaze in Berührung sind.

2. Auf beiden Seiten geschnittene Pflanzen. Der apicale, ins Wasser hängende Teil produziert sehr viel Protonema, auch verschiedene darauf folgende Blattachseln tun dasselbe; der basale, eingesteckte Pol zeigt einige schmächtige Rhizoiden.

Die Versuche mit Fissidens wurden zuerst in der Weise gemacht, dass der nach oben gekehrte Pol in Torf eingesteckt wurde. Die Resultate in Torf und in Sand waren gleich.

Die übrigen Moose, mit denen sonst experimentiert wurde, sind nicht brauchbar für diese Art von Versuchen. Die *Tortula-* und *Funaria*pflänzchen sind zu klein; ***Mnium*** kann ausser Betracht bleiben, wegen der Identität von Protonema und Rhizoiden.

Digitized by Google

b. Cultur in Wasser.

a. Pflanzen, deren nach unten oder nach oben gekehrter Pol in ein verdunkeltes Gefäss mit Wasser eingesteckt ist.

HOOKERIA QUADRIFARIA.

Die Resultate sind dieselben für die nach unten und nach oben eingesteckten Pole. Ich werde also nur diejenigen für die nach unten eingesteckten Pole beschreiben.

A. Stellung aufrecht.

Im ersten Monat weist der basale Pol, ob er angeschnitten war oder nicht, keine Neubildungen auf. Dagegen nach 6½ Wochen zeigen die Pflanzen wenige, aber sehr lange Rhizoiden. Der apicale Pol produziert entweder nichts oder Protonema, je nachdem der Vegetationspunkt anwesend ist oder nicht.

B. Stellung umgekehrt.

Keine der Versuchspflanzen entwickelt auch nur die geringste Neubildung an dem eingesteckten Teil. War die Spitze vorhanden, so wächst auch diese nicht weiter, und in beiden Fällen (mit oder ohne Spitze) treibt der basale Pol eine grosse Quantität von Protonema.

FISSIDENS ADIANTOIDES.

A. Stellung aufrecht.

Hier sind nach zwei Monaten Cultur noch keine Rhizoiden ausgewachsen; ein Exemplar zeigte deren drei sehr lange.

B. Auch wenn der apicale Pol eingesteckt ist, (die Stellung also eine umgekehrte ist) entstehen keine Neubildungen. Bei einigen wächst die Endknospe etwas weiter; ist diese abgeschnitten, so bleibt der Zustand unverändert.

Digitized by Google

Ist der basale Pol aufwärts gekehrt eingesteckt, so treiben viele Seitenknospen aus, die sich durch den schwarzen Stoff, welcher über den Erlemeyer-Kolben gespannt ist, hindurchbohren und stark etiolieren.

β. Pflanzen, die auf der ganzen Oberfläche beleuchtet sind.

HOOKERIA QUADRIFARIA.

A. Stellung aufrecht.

1. Unverletzte Pflanzen.

Der basale Pol erzeugt aus den abgebrochenen Rhizoiden etwas Protonema. Die Endknospen wachsen gewöhnlich nicht weiter. An den Blättern haben die Brutknospen ausgetrieben.

2. An beiden Seiten geschnitten.

An beiden Schnittflächen entwickelt sich ein Büschel von Protonema, gewöhnlich aus dem basalen Pol reichlicher, als aus dem apicalen. Letzterer trägt öfters keine Neubildungen.

B. Stellung umgekehrt.

1. Unverletzte Pflanzen.

Nur die Blattinitialen haben ausgetrieben; weder am basalen noch am apicalen Pol sind Neubildungen entstanden.

2. Auf beiden Seiten geschnitten.

In dieser Lage tragen beide Schnittflächen Protonema und wieder der hinuntergekehrte, also in diesem Falle der apicale, reichlicher, im Gegensatz zu den aufrecht gestellten Pflanzen.

Digitized by Google

FISSIDENS ADIANTOIDES.

A. Stellung aufrecht.

1. Unverletzte Pflanzen.

Die Rhizoiden bilden nichts Neues. In der Nähe des Vegetationspunktes kommen gewöhnlich aus 2 oder 3 Blattachseln Rhizoiden hervor, während

2. auf beiden Seiten geschnittene Pflanzen aus denselben Blattachseln eine Unmenge von Protonemafäden hervorbringen

B. Stellung umgekehrt.

1. Unverletzte Pflanzen.

Der grössere Teil der apicalen Pole hat nichts gebildet; einige wenige entwickeln ein paar Rhizoiden oder Übergangsgebilde, während der basale Pol unverändert bleibt.

2. Auf beiden Seiten geschnittene Pflanzen entwickeln dagegen an beiden Polen viel Protonema. Eine spezielle Bevorzugung der einen oder andern Schnittfläche konnte ich nicht beobachten.

Als Übergang zu folgenden Versuchen will ich bemerken, dass das Resultat der vorigen Anlass gab zu folgender Frage: Wäre nicht (und die letzten Versuchsreihen machten es wahrscheinlich) dem Kontakt mit kleinen festen Teilchen ein grösserer Einfluss auf die Bildung der Rhizoiden zuzuschreiben? Um dieses zu entscheiden wurden im folgenden bestimmte Teile einer Pflanze mit dem Sande in Berührung gebracht. Auch Parallelculturen wurden angestellt mit in Flüssigkeit getauchten und feuchter Luft ausgesetzten Teilen.

Versuche über den Kontakt auf mechanisch und chemisch verschieden beschaffenen Böden.

Pflanzen mit beiden Polen oder mit der Mitte des Stammes eingesteckt.

Digitized by Google

a. Cultur auf Sand.

HOOKERIA QUADRIFARIA.

1. Unverletzte Pflanzen.

A. Die beiden Pole werden eingesteckt.

Der basale Pol fährt in normaler Weise fort Rhizoiden zu produzieren. Wenn die Endknospe sich weiter entwickelt, so wächst dieselbe aufwärts und erzeugt Rhizoiden an dem den Sand berührenden Teil, sonst bleibt die Spitze unverändert, mit Ausnahme der eingesteckten Blätter, die aus ihren Initialen Rhizoiden entwickeln.

B. Stecken wir die Mitte des Stammes in den Sand hinein, so entwickeln sich aus den eingesteckten Blattinitialen Rhizoiden. Am basalen Pol bilden einige abgeschnittene Rhizoidenspitzen Protonemafäden.

2. Auf beiden Seiten geschnittene Pflanzen. An beiden eingesteckten Schnittflächen bilden sich sehr deutliche Rhizoiden, ebenso an den eingesteckten Blättern.

War dagegen die Mitte des Stammes eingesteckt, so bilden nicht nur die Blätter, sondern auch der Stamm selbst Rhizoiden. Die beiden Pole entwickeln in vielen Fällen Protonema oder Protonema mit Brutknospen. Die Bildung der letzteren konnte man durch Cultur unter Wasser steigern.

FISSIDENS ADIANTOIDES.

1. Unverletzte Pflanzen.

Der basale Teil und die obersten Blattachseln entwickeln viele Rhizoiden, wenn in den Sand eingesteckt. Wenig Rhizoiden bilden sich, wenn die mittleren Blattachseln die eingesteckten sind.

2. Auf beiden Seiten geschnittene Pflanzen.

Die basale Schnittfläche und die obersten Blattachseln zeigen ein grosses Quantum neuer Rhizoiden. Öfters entwickelt sich eine Seitenknospe an dem höchsten Punkt

Digitized by Google

des gekrümmten Stammes. War die Mitte des Stammes eingesteckt, so produzieren die mittleren Blattachseln Rhizoiden, die beiden aufwärts gekehrten Pole Protonema.

MNIUM UNDULATUM.

1. Unverletzte Pflanzen.

Die beiden Pole junger Sprossen entwickeln, wenn eingesteckt, „Protonema". Wenn erwachsene Pflanzen gebraucht wurden, so konnte man die Spitzen nur dazu bringen, indem man die Blätter entfernte, also Wundflächen erzeugte.

War die Mitte des Stammes eingesteckt, so entstehen an dieser Stelle Protonemafäden, aber wenig zahlreich. Einmal nur beobachtete ich ein Blatt, das auch austrieb.

2. Auf beiden Seiten geschnittene Pflanzen.

Es reagieren nicht nur die Stammesschnittflächen, sondern auch alle eingesteckten Blätter mit „Protonema"-Produktion in besonders üppiger Weise. Es treiben nur die jungen Teile der Blätter, welche mit dem Sand in Berührung sind, aus. [1])

Auch die Mitte des Stammes, wenn eingesteckt, erzeugt „Protonema". Mnium eignet sich der Grösse seiner Blätter halber vorzüglich zu Kontaktversuchen mit Blättern. [2])

3. Blätter.

Steckt man Blätter entweder mit der Basis oder mit der Spitze in den Sand hinein, so produzieren sie zuerst auf der ganzen Oberfläche „Protonema", nach drei Wochen Cultur bemerkt man aber, dass aus dem eingesteckten Teil eine den übrigen Teil bedeutend überwiegende Menge von Protonema entsteht. Es bildet sich da ein ganzer Knäuel von Fäden. Setzt man nachher die Cultur unter Wasser, so wachsen die Fäden des oberen Teiles wohl

---

1) Die Versuche ergaben die gleichen Resultate, ob unter oder ohne Wasser cultiviert.

2) Mit Hookeria ist solches unmöglich: die Blätter sind zu klein.

Digitized by Google

etwas nach, aber Büschel entstehen nie. Es werden auch Blätter mit Spitze oder Basis durch schwarzes Tuch hindurch in ein mit schwarzem Papier überzogenes und mit Nährlösung gefülltes Gefäss getaucht. Es sind in diesem Falle die Bedingungen der Verdunklung und der Feuchtigkeit erfüllt (wie in den Sand-Wasserculturen), doch fehlt der Kontakt mit feinen Sandteilchen. Das Resultat ist, dass der verdunkelte Teil ebenso viel Regenerationsfäden produziert, wie der beleuchtete.

Schaltet man die Bedingung der Verdunklung aus, steckt man also die abgeschnittenen Blätter durch Gaze hindurch und cultiviert unter Wasser, so ist die Verteilung des Protonemas wieder über die ganze Fläche dieselbe.

b. Cultur auf feingeriebenem Filtrierpapier. (Mit Nährlösung getränkt)

HOOKERIA QUADRIFARIA.

1. Unverletzte Pflanzen.

Der basale Pol erzeugt Rhizoiden, der apicale treibt keine Neubildungen wenn die Pflanze mit beiden Seiten eingesteckt wird. Wird dagegen die Mitte des Stammes vergraben, so ist die Rhizoidenproduktion gleich der auf Sand.

2. Auf beiden Seiten geschnittene Pflanzen.

Zuerst bildet nur der basale Pol Rhizoiden, schliesslich geht auch der apicale zur Regeneration über, erzeugt dann aber Protonemafäden und zwar mit zum Teil schiefen Querwänden, doch ohne Bräunung der Membrane und mit blassgrünen Chromatophoren. Echte Rhizoiden, wie sie apical im Sand auftreten, beobachtete ich nur äusserst selten. Wohl treiben die Blätter rhizoidenartige Gebilde.

Dasselbe ist über die Neubildungen zu bemerken, die sich aus der eingesteckten Stammesmitte entwickeln. Es bilden sich auch hier Protonemafäden von rhizoidartigem

Digitized by Google

Charakter, es bleiben aber die Wände typisch farblos. Manchmal kommen auch echte Rhizoiden vor.

FISSIDENS ADIANTOIDES & TAXIFOLIUS.

1. Unverletzte Pflanzen.

So wie im Sand, entwickeln der basale Pol und die obersten Blattachseln Rhizoiden. Ebenso verhalten sich die mittleren Blätter, wenn diese mit dem Papierbrei in Berührung sind.

2. Viel üppiger ist die Produktion (auch hier gab es natürlich wieder Ausnahmen), wenn ein Steckling in derselben Weise cultiviert wird.

MNIUM UNDULATUM.

Wiederum zeigen die Stammes- und Blattteile, die vom Brei umgeben sind, eine büschelartige Produktion von Regenerationsfäden, gegen welche die Anzahl der aus den übrigen Teilen entstehenden Fäden eine verschwindend kleine ist.

Mit Hookeria quadrifaria wurden noch Versuche angestellt, in welchen wir auf einen schmalen, zweimal umgebogenen Streifen Filtrierpapier die Mitte des Stammes legten, so dass beide Pole frei hervorragten. Es zeigt sich dann bei:

1. Unverletzten Pflanzen, dass keiner van den beiden Polen irgend welche Neubildung erzeugt. Zwei Mal beobachtete ich Protonemabildung aus den Rhizoiden. Die Endknospe war nicht weiter ausgewachsen.

Auch in der Mitte treten nur dann Rhizoiden auf, wenn eine Seitenknospe ausgetrieben hat. Die Seitentriebe sehen gewöhnlich nicht sehr kräftig aus, wahrscheinlich wegen der mangelhaften Nahrungsaufnahme. [1])

1) Die Versuche unter Wasser anzustellen war nicht gut möglich, da die Pflanzen immer an die Oberfläche kommen.

Digitized by Google

2. Auf beiden Seiten geschnittene Pflanzen, entwickeln basal sowie apical Protonema, das gewöhnlich nicht sehr in die Länge wächst, jedoch nach kurzer Zeit zur Produktion von Brutknospen übergeht. Wiederum ist am untern Pol die Quantität eine grössere und es stellt sich hier die Bildung früher ein als am apicalen. Das schliesslich über die ganze Stammesoberfläche (der mittlere, den Kontakt vermittelnde Teil ist bei diesen nicht bevorzugt) auftretende Protonema schreitet schon in dem zwei- oder drei-zelligen Stadium zur Brutknospenbildung über.

Unter andern chemischen Nährböden kommen noch in Betracht: Feingeriebener Granitstein, feingeriebener Ziegelstein, feingeriebenes Glas und Kalkstein.

Was die Körnergrösse anbelangt, so war diejenige des Glases am feinsten, staubförmig; fast ebenso fein zerrieben war der Ziegelstein. Beim Kalkstein kamen zwei verschiedene Modificationen in Betracht, die eine staubförmig, die andere aus ziemlich grossen Stücken bestehend.

HOOKERIA QUADRIFARIA.

Auf dem Granitboden ist das Resultat nicht abweichend von dem, das wir mit der Cultur auf sandigem Boden erreicht haben.

Einen andern Erfolg hat die Cultur auf Ziegelstein. Wenn auf beiden Seiten eingesteckt und angeschnitten, treten nur (und in weniger als 50 % der Fälle) aus der basalen Schnittfläche einige sehr kümmerlich entwickelte Rhizoiden auf, die kurz und dick bleiben und kaum in das Substrat hinein zu wachsen vermögen. Der apicale Pol zeigt in keinem Fall Neubildungen. Ich will noch hinzufügen, dass bei vertikal gestellten, also auf einer Seite eingesteckten Pflanzen, an der dem Substrate abgewandten Schnittfläche in normaler Weise Protonema entsteht. Auch treiben die Brutknospen normal aus. Ein chemisch hemmendes Substrat ist Ziegelstein wahrscheinlich nicht.

Digitized by Google

Kalkstein. In Kalkstein regenerieren keine der eingesteckten Teile, seien es Pole oder Mittelstücke. Wohl entwickeln die aufwärts gekehrten Schnittflächen der vertikal gestellten Stämmchen Protonema, doch diese Entwicklung hört bald auf und nach drei Wochen sterben die meisten Stecklinge ab.

Feingeriebenes Glas. Auch in diesem Substrat ist am basalen Pol die Rhizoidenentwicklung eine sehr spärliche; der apicale Pol produziert nichts, wenn er eingesteckt ist. Falls die Stecklinge vertikal stehen, so ist die Protonemabildung an der aufwärts gekehrten Schnittfläche normal, sowie auch bei Auskeimung der Blattinitialen.

FISSIDENS ADIANTOIDES.

Granit. Wie für Hookeria, wirkt auch hier der Granitboden in ähnlicher Weise wie Sand.

In Ziegelstein entwickeln weder die Pole noch die Stammesmitten Neubildungen. Die Regeneration an den aufwärts gekehrten Polen ist normal.

Die Stecklinge auf Kalkboden zeigen auch eine normale Regeneration, d.h. es entstehen so wie auf Sand auf zwei Seiten Rhizoiden, jedoch wachsen die Fäden besser in den körnigen als in den staubförmigen Kalk hinein.

Cultur auf Glasboden hatte wieder keinen Erfolg.

POLYTRICHUM, CATHARINEA UND DICRANUM

zeigen auch auf diesen Medien keine Spur von Rhizoiden- oder Protonemabildung.

C. Cultur auf Agar.

Leider stand mir, wie ich diese Rubrik von Versuchen aufstellte, kein Material von Hookeria mehr zur Verfügung, da das Material auf dem Baumfarn gänzlich zurückgegan-

Digitized by Google

gen war. Es sind desshalb nur Versuche mit Fissidens und Funaria angestellt worden.

FISSIDENS ADIANTOIDES.

1. Unverletzte Pflanzen.

Wenn der Stamm auf beiden Seiten eingesteckt ist, so produziert der basale Pol nur Rhizoiden, der eingesteckte apicale Teil nichts. War nur die Mitte eingesteckt, so treten weder Rhizoiden noch Protonema auf.

2. Pflanzen, deren Basis und Spitze entfernt worden sind entwickelten dagegen eine Unmenge von Protonema.

FUNARIA HYGROMETRICA.

Funaria erzeugt gewöhnlich Protonema und Rhizoiden durch einander; so auch hier an den eingesteckten Stammesteilen. Bei Cultur unter Wasser bedeckt sich die ganze Stammesoberfläche mit beiden Gebilden.

NÄHRBODEN MIT ORGANISCHER SUBSTANZ.

Cultur in Nährlösung mit Zufügung von 1 oder ½ % Glucose.

HOOKERIA QUADRIFARIA.

AM LICHT.

Es sei vorher bemerkt, dass die Culturen mit Hookeria am allermeisten von Bacterien und Hefen infiziert werden, die Pflanzen zerfressen. Auch wenn man jeden Tag die Culturflüssigkeit erneuert, kann man eine Cultur doch nie länger wie 14 Tage halten.

Hookeria verträgt nur ½ % Glucose; 1% wirkt auf die Dauer schädlich.

Die unverletzten Pflanzen zeigen gewöhnlich keine Ver-

Digitized by Google

änderung. Es entwickelt der Wurzelpol wenige Rhizoiden, doch es treiben nicht einmal die Blattinitialen, oder (wenn vorhanden) die Brutknospen aus. Statt dessen füllen sich die Blattzellen und Brutknospen mit einer ungeheuren Menge von Stärke.

Nicht sehr verschieden verhalten sich die Stecklinge. Vielleicht ist die Protonemaquantität, die am apicalen Pol entsteht etwas grösser, als in den Culturen ohne Zucker, ja in einigen Fällen beobachtete ich sogar Protonemafäden, die sich aus der Stammesmitte entwickelten, was sonst nicht oft vorkommt. Doch auch hier zeigt sich die merkwürdige Erscheinung der Stärkeanhäufung in den Blättern, ohne dass diese darauf zu einer entsprechend grossen Regeneration übergehen. [1])

Ich brachte die ganzen Pflanzen und auch abgetrennte Blätter teilweise in Nährlösung ohne Zucker, teilweise legte ich sie auf Sand, doch in keinem Falle erfolgte eine besonders üppige Regeneration aus den vor Stärke strotzenden Blättern. Die Pflanzen treiben etwas Protonema, doch gehen sie gewöhnlich nach einer Woche zu Grunde.

FISSIDENS ADIANTOIDES.

Fissidens zeigt keinen Unterschied zwischen den mit Zucker ernährten und in gewöhnlicher Nährlösung cultivierten Pflanzen. Die Regeneration stimmt mit derjenigen der auf Filtrierpapier liegenden Pflanzen überein, nur fehlen Rhizoiden. Auch hier ist aber eine sich über längere Zeit ausdehnende Cultur wegen Verunreinigung unmöglich. Von besonderer Stärkeanhäufung konnte ich auch nichts wahrnehmen.

---

1) Die Versuchspflanzen wurden in einer dünnen Nährlösungsschicht cultiviert, welcher die betreffenden Substanzen zugefügt sind. Obwohl die Pflanzen also nicht in „vertikaler Lage" cultiviert wurden, will ich sie lieber hier erwähnen, weil die Versuche sich besser an die vorhergehenden anschliessen.

Digitized by Google

MNIUM UNDULATUM.

Mnium undulatum dagegen zeigt eine ansehnliche Steigerung der Regeneration in Zuckerlösungen. Die Concentration konnte man bis auf 7 % steigern. Stammstücke reagieren durch eine viel raschere Produktion von ungewöhnlich zahlreichen und langen „Protonema"fäden.

Beblätterte Stämme zeigen dieselbe Erscheinung hauptsächlich an den Blattachseln; auf zwei Seiten geköpfte, dagegen polar. Jedoch treten die Fäden an der ganzen Oberfläche des Stammes hervor, falls die Blätter entfernt worden sind.

Die mit dem Stamm in Verbindung gebliebenen Blätter regenerieren unter diesen Umständen nicht. (Vergl. Pag. 40.)

Abgetrennte Blätter zeigen eine viel üppigere „Protonema"bildung; Knospen treten nicht in grösserer Anzahl auf.

FUNARIA HYGROMETRICA.

Die in Glucose-Lösung cultivierten Stämmchen, ob sie der Spitze entbehren oder nicht, (in keinem der beiden Fälle wuchsen resp. die Seitenknospen oder die Endknospe weiter) zeigen eine ausserordentlich grosse Production von Protonema. In den Parallelculturen ohne Hinzufügung von Zucker entstehen ausser Protonema vielfach noch Rhizoiden, während die Zuckerculturen fast ausschliesslich Protonema vorweisen.

Steckt man die Pflanzen in Sand ein und cultiviert sie unter Nährlösung-Zucker, so entstehen an dem den Sand berührenden Teil normale Rhizoiden.

Weder an *Polytrichum*-, noch an *Catharinea*- oder *Dicranum*-stämmchen konnte ich nach Hinzufügen von Zucker eine Produktion von Protonema hervorrufen.

TORTULA MURALIS.

Tortula-Pflänzchen cultivierte ich in Glycerin-Nährlö-

Digitized by Google

sung. Das zugefügte Glycerin förderte die Regeneration; die Protonemabildung war eine besonders üppige. Rhizoiden traten fast nicht auf.

NÄHRBODEN (FLÜSSIGKEIT) MIT ZINKSULFAT.

Zinksulfat ist bekanntlich giftig für die Pflanzen, doch hat es sich in sehr verdünnter Lösung als ein, das Wachstum der Pilze förderndes Reizmittel erwiesen. Es fragte sich, ob vielleicht bei Moosen diese Verbindungen fördernd auf die Regeneration (sei es auf die Produktion von Rhizoiden, sei es auf die Produktion von Protonema) wirken.

Ich fügte der Nährlösung verschiedene Quantitäten $Zn\,SO_4$ zu; es zeigte sich:

HOOKERIA QUADRIFARIA.

0.04 °/₀ Absterben
0.01 °/₀ Langsames, doch nach einer Woche vollkommenes Absterben
0.001 °/₀ Regeneration etwas verzögert.
0.004 °/₀ Normale Regeneration
0.001 °/₀ „ „

0.04 °/₀ war der kritische Prozentsatz, indem er fördernd auf das Wachstum von Aspergillus niger wirkte.

FISSIDENS ADIANTOIDES.

0.04 $Zn\,SO_4$. Regeneration stark herabgesetzt. Was die Qualität der entstehenden Fäden anbelangt, kein Unterschied.
0.02 zeigt dieselbe Einwirkung wie 0.04 %.
0.01°/₀ Nach 3 Wochen treten noch keine Absterbungserscheinungen auf, doch die Regeneration ist im Vergleich zu den Parallelculturen eine sehr geringe.
0.001 °/₀ Die Regeneration ist nicht verschieden von derjenigen in Culturen ohne Zinkzusatz. Seitenknospen wachsen in keinem der Fälle aus.

Digitized by Google

FUNARIA HYGROMETRICA.

Die Pflanzen werden in Sand eingesteckt und unter Wasser cultiviert. Es treiben in den Culturen ohne Zusatz von Zinksulfat die geköpften und ungeköpften Pflanzen aus allen Stammesteilen eine Unmenge von Protonema, das sich stark heliotropisch krümmt. Dazwischen entwickeln sich ausserdem Rhizoiden, die sich alle nach der gegenüberliegenden Seite hin wenden. Dazu kommt noch eine grosse Menge von Seitentrieben.

Das Protonema fängt nach 4-tägiger Cultur an Knospen zu bilden. Bald schweben eine Unmenge junger Pflanzen in der Nährflüssigkeit, die selbst Rhizoiden entwickeln, welche in den Sandboden hineindringen.

Die Culturen, welche zur Nährflüssigkeit 0.4% $ZnSO_4$ zugesetzt erhielten, zeigen gar keine Protonemafäden oder ganz vereinzelte, die sehr bald nach dem Entstehen zu Grunde gehen. Dagegen entwickeln sich ohne irgend welche Verzögerung die Seitentriebe. Sie sind meistens sogar länger als diejenigen in der Cultur ohne Zinkzusatz, doch treiben sie keine Rhizoiden, wie das die Seitentriebe in normaler Nährlösung zu tun pflegen.

Bei einer Konzentration von 0.001 wachsen Protonema und Rhizoiden wieder aus dem Stamme heraus, so wie in den Parallelculturen.

Genau dasselbe Verhalten wie Funaria zeigt TORTULA MURALIS.

III. VERSUCHE MIT PRIMÄREM PROTONEMA.

Sporenkeimung auf verschiedenen Nährböden.

FUNARIA HYGROMETRICA.

Keimung auf Sand.

Das Protonema bringt eine Menge Rhizoiden hervor

Digitized by Google

schon bevor sich junge Pflanzen entwickelt haben. Nur eine Cultur produziert Knospen. Das andere Protonema erzeugt Rhizoiden, die in den Boden hinein wachsen.

Keimung auf Agar.

Das Protonema, an dem die Knospenbildung unterbleibt, bildet fast keine Rhizoiden. Die Quantität ist jedenfalls verschwindend klein gegenüber der auf Sand entstandenen.

Keimung in Nährlösung.

Das Protonema zeigt keine Rhizoidenbildung. Wohl entwickeln die jungen Pflanzen solche an der Basis. Anfänglich entstehen an der Stelle auch noch Protonema-Äste später nur noch Rhizoiden.

Keimende Brutkörper

von

AULACOMNIUM PALUSTRE.

Die Cultur auf Sand konnte mir nicht gelingen. Die Brutkörper keimen nur in geringem Masse, trotzdem ich den Sand sehr feucht hielt.

In Nährlösung entwickelt sich das Protonema aber in sehr üppiger Weise. Nach 5-6 Wochen treten die ersten Knospen auf. Während der nächtstfolgenden zwei Wochen wachsen die jungen Pflänzchen kräftig, bilden an der Basis Protonemafäden und Rhizoiden durcheinander. Bei einigen schnitt ich die Spitze ab. Die Folge ist, dass mehr Protonema aus der Stammesbasis hinaus wächst und dass dazu die Seitenzweige der Rhizoiden sich alle zu Protonemafäden entwickeln.

Dann aber fangen sie an schmächtiger auszusehen, die Spitzen sterben allmählich ab, (vielleicht weil sich Algen in der Nährlösung entwickeln.) Dagegen ist die Protonemaproduction an der Basis eine ebenso ausgiebige wie zuvor.

Schliesslich geht auch das Protonema zu Grunde.

Digitized by Google

ABSCHNITT III.

I. MORPHOLOGISCHES.

I. Über das Entstehen von Protonema aus Rhizoiden.

Wenn sich Protonema-Äste aus den Rhizoiden entwickeln, so kann dies auf zweierlei Arten geschehen:

1. Das Protonema entsteht als Seitenast eines Rhizoids.

2. Die Fortsetzung des Rhizoids nimmt Protonema-artigen Charakter an. [1])

In keinem Falle konnte ich beobachten, dass eine Rhizoidenzelle sich nachträglich änderte und die charakteristischen Merkmale des Protonemas annahm. Wohl können die Leucoplasten der Rhizoiden ergrünen, doch die Stellung der Scheidewände ändert sich unter keinen Umständen; ebenso ist die braune Farbe der Membranen eine bleibende. Das umgekehrte Verhalten, die Entwicklung von Protonema aus Rhizoiden, trat in meinen Culturen nicht auf.

Was jede Art für sich betrifft, so lässt sich folgendes bemerken:

HOOKERIA QUADRIFARIA.

Protonema-Äste entwickeln sich in den zwei oben beschriebenen Fällen aus Rhizoiden.

1. Als Seitenäste entwickeln die Protonemafäden sich immer direkt oberhalb der Scheidewände. Es gibt hier keine (so wie das für andere Arten zu beschreiben ist) ruhenden „Augen." Wenn ein Rhizoid Seitenäste in Protonemaform treibt, stellt es selbst das Wachstum ein. (Fig. 2.)

2. An einem normalen Rhizoid sah ich nie Protonema-Äste als Fortsetzung entstehen. Jedoch an abgebrochenen Rhizoiden entwickeln sich sehr oft endständige Protone-

---

1) Beispiel dieses zweiten Modus bei Correns, l. c. Pag. 415.

Digitized by Google

ma-Äste. Wie aus der Fig. 1 ersichtlich, entsteht da der grüne Ast nicht an der Stelle eines Seitenzweiges, (er müsste dann oberhalb der Querwand seinen Ursprung nehmen) sondern er schliesst sich direkt an die Scheidewand an. Sehr häufig verzweigt sich der Protonemafaden unmittelbar nach seinem Ursprung.

TORTULA MURALIS.

1. Bei Tortula finden wir immer zahlreiche ruhende Augen, [1]) die entweder als Rhizoiden oder als Protonema auswachsen können.

Es können diese Seitenäste auf folgende Art entstehen:

I. Das Auge wächst direkt zum Protonemafaden aus. (Fig. 4.)

II. Der Protonema-Ast wächst seitlich aus dem Auge heraus. Letzteres bleibt als solches bestehen. (Fig. 5.)

III. Das Auge wächst zu einen Rhizoid aus, und treibt ausserdem etwas oberhalb der Insertionsstelle einen oder mehrere Protonema-Äste. (Fig. 5.)

Meine Versuche, diese verschiedenen Entstehungsarten auf mehrfache Culturbedingungen zurückzuführen, blieben ohne Erfolg.

2. Bei Tortula zeigt sich sehr deutlich, dass ein Rhizoid sich direkt als Protonema fortsetzen kann. Ein Verhalten, wie das Hookeria zeigt, trat in meinen Culturen nicht auf.

FUNARIA HYGROMETRICA.

Hier herrscht die Entstehung der Protonemafäden als Seitenzweige oberhalb der Querwände vor, doch es treten auch gelegentlich Protonemazellen als direkte Fortsetzung von Rhizoiden auf.

---

1) Abbildung bei Haberlandt. Physiol. Pflanzenanatomie. 3. Aufl. Fig. 78.

Digitized by Google

CERATODON PURPUREUS.

Die Protonemafäden wachsen an unbestimmten Stellen aus den Rhizoiden heraus. Beziehungen zu den Querwänden fand ich nicht. Auch als Fortsetzung von Rhizoiden treten sie auf. (Fig 12.)

FISSIDENS ADIANTOIDES.

1. Die Protonema-Äste entstehen als Seitenzweige etwas oberhalb der Scheidewände, doch ohne dass ruhende Knospen angedeutet sind. (Fig. 9.)

2. Als Verlängerung von ursprünglich dem Stamm entspringenden Rhizoiden treten auch öfters Protonemafäden auf.

Nebenbei möchte ich bemerken, dass sich von diesen in feuchter Luft oder in Wasser, auf Agar oder auf Filtrierpapier entstehenden Protonemen diejenigen, die sich auf sandigem Boden entwickeln, verschieden verhalten. Die Äste schlängeln sich um die Sandkörner herum, haben sehr grosse Chlorophyllkörner und die Seitenzweige entspringen nicht an bestimmten Stellen. (Fig. 11.)

II. Die Initialen.

Correns hat zuerst darauf hingewiesen, dass nicht jede beliebige Zelle einer Moospflanze zur Regeneration fähig sei, sondern dass sich dieses Vermögen auf bestimmte, bald in der Form, bald in physiologischer Hinsicht sich vom übrigen Gewebe unterscheidenden Zellen, beschränke.

Nur über die Blattinitialen von Hookeria nnd Mnium kann ich etwas näheres mitteilen; an den Stämmen waren sie nicht nachzuweisen.

HOOKERIA QUADRIFARIA.

Wie früher bemerkt, befinden sich die Initialen in der

Digitized by Google

3. oder 5. Zellreihe vom Blattrande entfernt; stellenweise findet man sie zu Gruppen vereinigt, sehr oft auch einzeln, umringt von Nicht-Initialen. Die Initialen sind Zellen, die sich von dem umliegenden Gewebe durch geringere Grösse, geringeren Chlorophyllgehalt und grösseren Plasmagehalt unterscheiden. (Fig. 20.)

Der Turgor übertrifft denjenigen der übrigen Zellen; in einer 5 °/₀ Lösung von Kalisalpeter tritt nur sehr schwer Plasmolyse ein, während die Nicht-Initialzellen eine unmittelbare Contraction des Plasmas zeigen. Conzentrierter Schwefelsäure und Chlorzinkjod gegenüber verhalten sich die Initialwände den übrigen gleich. (Fig. 21.)

Man kann mittelst Jod oder Eosin die Initialen sehr stark aus dem übrigen Gewebe hervortreten lassen (in letzterem Falle nach vorhergehendem Abtöten des Blattes), indem sie von genannten Stoffen intensiver gefärbt werden als das übrige Blattgewebe; beide Reaktionen deuten auf einen höheren Plasmagehalt. In den Blattnerven, die nach Entfernung der Initialen zur Protonemabildung übergehen, konnte ich keine spezialisierten Zellen nachweisen.

MNIUM UNDULATUM.

Auch hier findet man bestimmte Initialen, die durch ihre Kleinheit und ihren geringen Chlorophyllgehalt auffallen. Durch die bei Hookeria mit Erfolg angewandten Reaktionen liess sich aber kein Unterschied vom übrigen Gewebe nachweisen. (Fig. 22.)

ABSCHNITT IV.

SCHLUSSFOLGERUNGEN.

Betrachten wir die Resultate der vorigen Untersuchungen, so ergibt sich zunächst dieses:

Digitized by Google

Protonema entsteht an irgend einem Pflanzenteil nur dann, wenn die Ursache für eine Regeneration durch Entfernung von gewissen Teilen gegeben ist.

Die Rhizoiden machen, nach oben beschriebenen Versuchen, in Bezug auf diesen Satz keinen Unterschied. Diese Behauptung geht aus den Versuchen hervor, welche den Unterschied an Pflanzen mit und an solchen ohne Vegetationspunkt klarlegten. Die Pflanzen erzeugen nur dann Protonema aus den Rhizoiden, wenn der Vegetationspunkt entfernt worden, oder keines weiteren Wachstums fähig ist. Entwickelt die Endknospe sich weiter, so entsteht allerdings gelegentlich etwas Protonema, doch gewöhnlich an abgebrochenen Rhizoiden, dort, wo wahrscheinlich der Wundreiz einen Anlass zur Regeneration bot. Die Endknospe und das Protonema sind Correlanten von einander: ist erstere entfernt, so bildet sich letzteres aus. Eine deutliche Correlation tritt aus den Versuchen mit Hookeria hervor, wo der Wurzelpol entfernt worden war. Trotzdem die basale Schnittfläche verwundet war, tritt an derselben bei starkem Wachsen der Endknospe kein Protonema hervor. Die im Wachstum begriffene Endknospe kann nach Entfernung durch einen Seitenspross ersetzt werden und dann wird auch die Protonemabildung an den Rhizoiden bedeutend herabgesetzt. Dass in dem Sachs'schen Versuch (Umdrehen eines Moosrasens) die Entwicklung von Protonema aus den Rhizoiden vor sich geht, möchte ich als die Folge der Entwicklungshemmung der Endknospe auffassen. Vergleichen wir z. B. den auf Pag. 30 genannten Versuch mit Hookeriapflänzchen, wo die Spitze, trotz des Einsteckens in Sand, ihr Wachstum fortgesetzt hat, so finden wir auch da eine verschwindend kleine Protonemamenge, die auf die Verwundungen an den Rhizoiden zurückzuführen wäre. Steckt man dagegen die Spitze tief ein, sodass die Endknospe abstirbt, so ist die Protonemamenge grösser. Ist aber der Wurzelpol entfernt,

Digitized by Google

so ist, (wie in dem Schema angegeben) die Protonemabildung eine bedeutende.

Als wichtig betrachte ich auch die Tatsache, dass die jungen kräftig wachsenden Seitensprossen der Tortula- und Ceratodonpflänzchen trotz der Beleuchtung nur Rhizoiden und niemals Protonema entwickeln. Sind auch, was das Rhizoidensystem anbelangt, die älteren, aus der Erde losgelösten Pflänzchen niemals intakt, so dass immer eine Spur Protonema gebildet wird, so sind doch diese jungen Seitenknospen in keiner Weise verwundet worden und zeigen darum auch durchaus keine Protonemaproduktion.

Bei Hookeria scheint der Mutterstamm die Bildung der Rhizoiden für den Seitenspross und mit diesem den höheren Anspruch, den die stark wachsenden Triebe an die Nahrungsaufnahme stellen, übernommen zu haben. (Pag. 10.)

Wir sehen also an der Produktion von Rhizoiden unter Lichteinfluss, dass nicht dieser die Ursache für Protonemabildung sein kann. Wohl ist das Licht eine Bedingung, die ausser diesen innern, ernährungsstörenden Faktoren [1]) erfüllt sein muss, wenn das Protonema sich normal ausbilden soll.

Die teilweise verdunkelten Hookeriapflanzen (Pag. 13) konnten trotz der Entfernung des Vegetationspunktes namentlich am verdunkelten Teil kein Protonema hervorbringen. Verdunkeltes Regenerationsprotonema bildet sich nicht weiter aus.

Andere Gattungen (Tortula, Funaria) die im Dunkeln wohl regenerieren, zeigten entweder Fäden mit bleichen Chloroplasten und geraden Scheidewänden (was gewöhnlich für die Blätter der Fall ist) oder mehr oder weniger schiefwändige Übergangsgebilde. (am Tortulastamm). Pag. 16. Jedenfalls geht ein Protonema-Ast durch Verdunklung nicht

1) c. f. pag. 5.

Digitized by Google

in ein Rhizoid über. Es scheint mir dass verschiedene Gattung in dieser Beziehung graduell differieren.

Sollen aber an der Stelle von Protonema, wenn der Anlass zur Regeneration durch Entfernung eines Stückes gegeben ist, im Dunkeln Rhizoiden entstehen, so muss noch eine zweite Bedingung erfüllt sein, nämlich: der Kontakt mit festen Teilchen.

Paul [1]) wies darauf hin, dass Moose, wenn sie ins Wasser geraten, keine Rhizoiden ausbilden.

Ich halte für die Ausbildung eines normalen Rhizoidensystems den Kontakt mit festen Teilchen für einen unentbehrlichen Faktor. Dafür sprechen die Versuche mit homogenen Substraten, wie Wasser und Agar-Agar es sind. Auf letzterem Boden bildeten weder Hookeria, noch Fissidens Rhizoiden aus, trotzdem auch Versuche im Dunkeln vorgenommen wurden.

Auch in Culturen, in welchen der Wurzelpol in Wasser eingesteckt und verdunkelt war, traten keine Rhizoiden auf. Hookeria zeigte deren einige wenige, die eine ausserordentliche Länge erreichten und sich nicht verzweigten. Die „Modellierung" des Rhizoidensystems scheint an die mechanische Beschaffenheit des Substrates gebunden zu sein. Entscheidend auf die Ausbildung der Regenerationsfäden in Form von Rhizoiden, wirkt auch der Kontakt auf den in Sand eingesteckten Pol der Stecklinge.

Wird der eine Pol (sei es der apicale oder der basale) in Wasser eingesteckt und verdunkelt, (Ausschaltung des Kontaktes) so bildet er nichts, während er, wenn in Wasser eingesteckt und beleuchtet, Protonema erzeugt. (Ausschaltung von Kontakt und Verdunklung).

Einstecken von beiden Polen in ein sandiges Substrat hat Produktion von Rhizoiden an beiden Schnittflächen

---

[1]) Paul. Beiträge zur Kenntniss der Biologie der Laubmoose. Englers Jahrbücher Bd. 32 Pag. 262.

Digitized by Google

zur Folge. Ebenso produziert die Stammesmitte nur dann Rhizoiden, wenn dieselbe eingesteckt worden ist.

Fissidens scheint allerdings eine Ausnahme zu machen. Es entstehen bei dieser Pflanze auch Rhizoiden aus nicht Kontakt vermittelnden Blattachseln.

Auch bei Mnium wird die Entwicklung der Regenerationsfäden durch Kontakt bedeutend bevorzugt. Man vergleiche bloss was Länge und Quantität betrifft, die Fäden, die sich in Wasser entwickeln mit denen, die beim Kontakt mit Sand oder Filtrierpapier entstanden.

Gerade die Eigenschaft, dass ihre Ausbildung so sehr vom Kontakt beeinflusst wird, würde auf eine „Rhizoiden" Natur dieser zweideutigen Gebilde hinweisen. Bei anderen Gattungen, wo die Regenerationsbildungen eine völlige Protonemanatur besitzen, übt der Kontakt auf sie keine vorteilhafte Wirkung aus; im Gegenteil, die Protonemaentwicklung wird gerade durch entgegengesetzte Bedingungen gefördert; so namentlich durch ein flüssiges Milieu. Ich mache hier bloss aufmerksam auf die enorme Ausbreitung, die das Blattprotonema von Hookeria in Flüssigkeit erreicht, auf die Steigerung der Protonemabildung an der apicalen Schnittfläche von Hookeria-und Fissidensstämmen unter Wasser, schliesslich auf die Keimung der Hookeria-Brutknospen unter Wasser, die in feuchter Luft unterbleibt. Ja, ich möchte den charakteristischen Merkmalen für Rhizoiden und Protonema (wie auf Pag. 3) eine physiologische Eigenschaft hinzufügen; nämlich zu denjenigen der Rhizoiden: „Entwicklung an Kontakt mit festen Teilchen gebunden", und zu der von Protonema: „Entwicklung durch ein wässeriges Milieu bedeutend gefördert".

Doch die Regenerationsgebilde an den Blättern und Stämmen von Mnium desshalb als Rhizoiden zu erklären, im Gegensatz zu allen andern Regenerationsbildungen, die Protonemanatur haben, möchte ich nicht. Es ist aber merkwürdig, dass das Protonema mit der äussern

Digitized by Google

Form von Mnium auch diese Eigenschaft übernommen hat!

Auch die schon von Paul [1]) und vorher von Meijen und nachher von mir gemachten Versuche mit Funaria-Sporen, bei denen in Wasser die Ausbildung von Rhizoiden am Protonema unterblieb, auf Sand dagegen deutlich zu Tage trat, weist auf den unentbehrlichen Einfluss des Kontaktes auf die Ansbildung der Rhizoiden hin. Ausserdem sprechen meine auf Agar-Agar gemachten Versuche dafür.

Wir haben gesagt, dass der Kontakt ein solcher mit festen Teilchen sein soll. Sand und der eine gleiche Struktur zeigende Granit erwiesen sich am vorteilhaftesten. Feingeriebenes Filtrierpapier zeigte sich schon als weniger geeignet, vielleicht weil die Teilchen weicher sind. Für den mittleren Teil des Stammes scheint der Kontakt bei Hookeria ungenügend zu sein. Sehr fein geriebener Ziegelstein, sowie sehr fein zerriebenes Glas, welche beide mit Wasser einen dichten, undurchdringlichen Brei liefern, scheinen der Rhizoidenentwicklung entgegen zu wirken, sowie es auch für Ton angegeben wird. [2]) In diesem Substrat bleiben die Rhizoiden am kürzesten.

Bei diesen Nährsubstraten kam nur das mechanische Moment in Betracht. Durch seine chemische Natur scheint bloss Kalkstein hemmend auf die Rhizoiden-Ausbildung von Hookeria zu wirken, weil die Pflanzen absterben. Fissidens dagegen verträgt es gut.

Chemisch fördernd auf die Ausbildung von Protonema wirken die organischen Substanzen. (Glycose und Glycerin) Die Tatsache der Stärkeanhäufung bei Hookeria und das Unterbleiben der Protonema-Auswachsung ist mir ganz unerklärlich.

Bei Mnium ist eigentümlich, dass die Regenerationsfäden hier wieder deutlich Protonemanatur zeigen.

---

1) Paul. l. c. 262.
2) Paul. l. c. 240.

Digitized by Google

Es scheint mir aber nicht, dass die Anwesenheit von verschiedenen chemischen Substanzen auf die Entstehung von Protonema oder Rhizoid entscheidend wirkt. Wohl scheint Zinksulfat für Protonema- und Regenerationsbildung hemmend zu sein, während es die Seitenknospen in geringerem Masse beeinflusst.

Was nun die Polaritätsfrage anbelangt, für deren Entscheidung die Versuche in vertikaler Lage angestellt worden sind, so lehren uns diese Versuche, dass die Stecklinge unten Rhizoiden und oben Protonema erzeugen, doch auch zu gleicher Zeit, dass beim Umdrehen der Stecklinge das umgekehrte Verhältniss auftritt und zwar so, dass, wenn der basale Pol aufwärts gekehrt ist, dieser viel mehr Protonema erzeugt, als der apicale, wenn dieser aufwärts gekehrt ist.

Vergleichen wir was bei den höheren Pflanzen geschieht, wenn der apicale Pol in die Bedingungen des basalen gebracht wird, so finden wir, dass sich auch hier ein sogenanntes„ „Umstimmen der Polarität" vollziehen lässt, indem am basalen Pol sich die Organe des apicalen entwickeln, oder es ist wohl die Polarität durch äussere Umstände nicht zum Ausdruck gekommen (wie Goebel sagt). Doch dann und hierauf lege ich ganz besonders Gewicht, entwickeln sich diese Organe sehr kümmerlich. [1]) Bei diesen Moosen ist eben bei umgekehrter Cultur die Ausbildung des Protonemas an der aufwärts gekehrten Schnittfläche eine viel reichlichere. Es muss also die Eigenschaft Regenerationsfäden zu erzeugen am basalen Pol eine viel stärker ausgeprägte sein, als am apicalen, gleichgiltig op die Fäden als Rhizoiden oder als Protonema

---

1) Diese Angaben sind entnommen aus Goebel Allgemeine Regenerationsprobleme. Flora, 1905. Ergbd. Heft II.

Digitized by Google

ausgebildet sind. Die Natur dieser Gebilde wird dann durch die äusseren Umstände bedingt.

Eben wegen des obengenannten Unterschiedes will ich den Moosen eine Polarität, d. h. eine bestimmte Verteilung der organbildenden Stoffe, absprechen.

Es wäre von Interesse zu untersuchen, ob die Bildung von Rhizoiden und von Protonema an bestimmte Stoffe gebunden sei. Die Versuche, die ich in dieser Richtung anstellte, gaben mir keine Erläuterungen. Die microchemische Reaktion auf Zucker (Osazonreaktion) deutete in beiden Fällen auf sehr wenig, manchmal auf das Fehlen des Zuckers; jedenfalls konnte von einem Vergleich nicht die Rede sein. Ebenso war es mit den Reaktionen auf K, Mg, P und Nitraten.

In derselben Richtung wären vielleicht die Beziehungen zwischen Seitensprossen und Protonema zu suchen. Est ist noch völlig unklar, warum bei der Regeneration bald Entwicklung von Protonema, bald diejenige von Seitentrieben vorherrscht. Auch hier besteht eine gewisse Correlation.

Auch die unregelmässige Verteilung der Seitentriebe am Stamm deutet auf ein Fehlen der Polarität hin. Eigentümlich ist bei Hookeria, dass das Stammprotonema sich hauptsächlich am basalen Pol ausbildet, während die Entwicklung der Brutknospen (oder, wenn unter Wasser cultiviert wird, des Protonemas) hauptsächlich an den oberen Blättern stattfindet.

Die Lage der Pflanzen zum Erdcentrum, mit anderen Worten, der Geotropismus, scheint keinen entschiedenen Einfluss auf die Entstehung von Rhizoiden oder Protonema zu haben. Vielleicht bilden sich an dem aufwärts gekehrten Pol, wenn er eingesteckt ist, die Rhizoiden weniger leicht aus, weil sie in der Richtung der Schwerkraft wachsen müssen und hier keinen Kontakt finden.

Für verschiedene Arten ist der Einfluss des vorheri-

Digitized by Google

gen Zustandes in Bezug auf die Regeneration verschieden. Die zarten Hookeriastämmchen zeigen nach einem Aufenthalt in kohlensäurefreier Luft eine bedeutend geschwächte Regeneration, während die kräftiger gebauten Mniumstämmchen ebenso üppig regenerieren.

Was das Entwicklungsstadium der Pflanzen anbelangt, so fand ich nur bei Mnium einen Unterschied in der Regeneration zwischen jungen und erwachsenen Stämmen.

Versuche mit fruktifizierenden Pflanzen zeigten keinen besonderen Unterschied; desshalb habe ich sie oben nicht beschrieben.

Obwohl nicht in direktem Zusammenhang mit meiner Arbeit stehend, möchte ich zum Schluss noch einen eigentümlichen Fall von an einer abnormalen Stelle entwickelten Geschlechtsorganen bei Mnium undulatum erwähnen. Wie aus der Fig. 21 ersichtlich, sind hier die Archegonien auf dem mittleren Teil des Stammes entstanden, aber sie zeigen keine regelmässige Anordnung. Leider hatte ich den Vegetationspunkt schon abgeschnitten, bevor ich diese Abnormität bemerkte. Es wäre von Interesse gewesen zu sehen, ob sich auch an der normalen Stelle Geschlechtsorgane ausgebildet hätten.

Die Arbeit wurde auf Anregung und unter Leitung von Herrn Prof. Goebel angefangen. Herr Prof. Schinz gestattete mir freundlichst die Arbeit in seinem Laboratorium zu Ende zu führen.

Beiden Herren Professoren meinen herzlichsten Dank für ihre in jeder Hinsicht bereitwillige Hilfe.

Digitized by Google

ERKLÄRUNG DER ABBILDUNGEN.

Fig. 1. *Hookeria quadrifaria.* Entstehung von Protonema aus einem Rhizoid.

„ 2. Idem. Die Protonema-Äste entstehen als Seitenzweige.

„ 3. Idem. Entwicklung von Protonema-Ästen aus den Mittelnervzellen, nach Entfernung der Initialschicht. 3a. Idem.

„ 4. *Tortula muralis.* Entstehung von Protonema-Ästen an einem Rhizoid. Die schlafenden Augen sind direkt zu Protonema ausgewachsen.

„ 5. Idem. Das Auge hat einen Protonema-Ast und ein Rhizoid getrieben.

„ 6. Idem. Das Auge selbst ist zu einem Rhizoid ausgewachsen und letzteres hat seitlich einen Protonema-Ast ausgetrieben.

„ 7. Idem. Protonemabildung als Fortsetzung eines Rhizoids.

„ 8. Idem. Brutkörperbildung am Protonema auf Filtrierpapier.

„ 9. *Fissidens adiantoides.* Entstehung eines Protonema-Astes aus einem Rhizoid.

„ 10. Idem. Ein Protonema-Ast (P) mit Rhizoidnatur an einem verwundeten Stamm entstanden und ein Rhizoid (R).

„ 11. Idem. Protonema auf Sand entstanden.

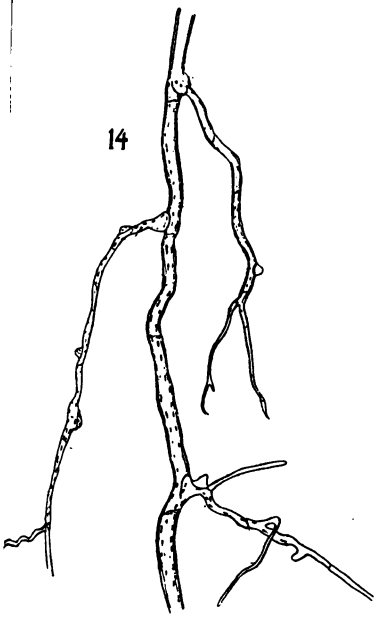
„ 12. *Ceratodon purpureus.* Entstehung von Protonema an einem Rhizoid.

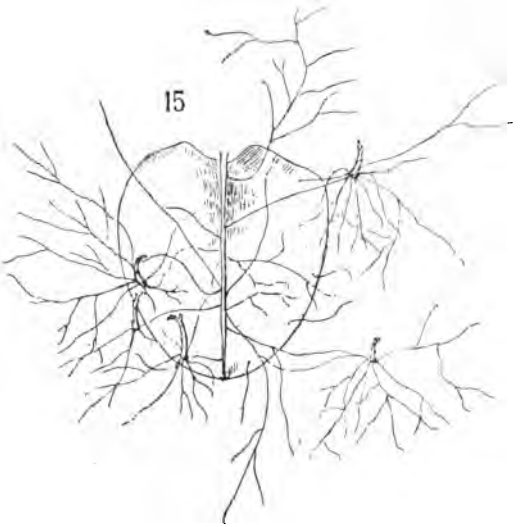
„ 13. Idem. Brutkörper, welche sich aus dem zerfallenden Protonema gebildet haben. a. Trennungszelle.

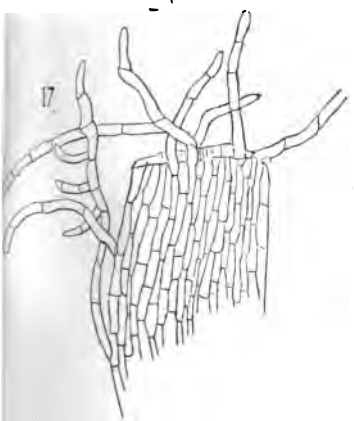
Digitized by Google

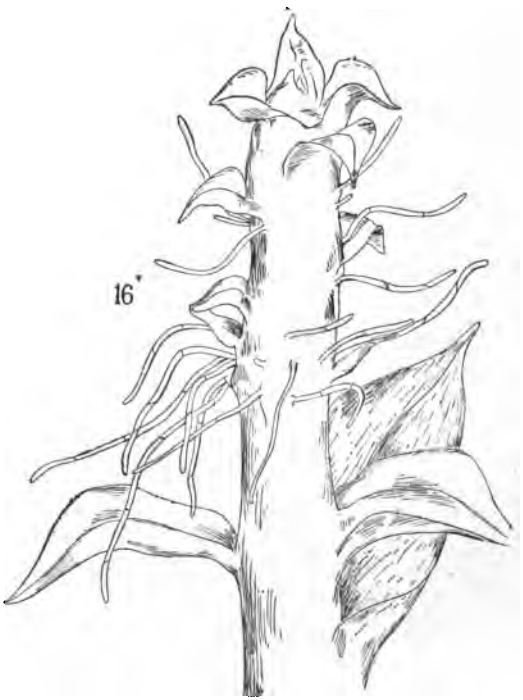
Digitized by Google

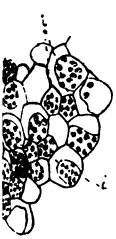
Digitized by Google

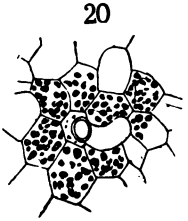


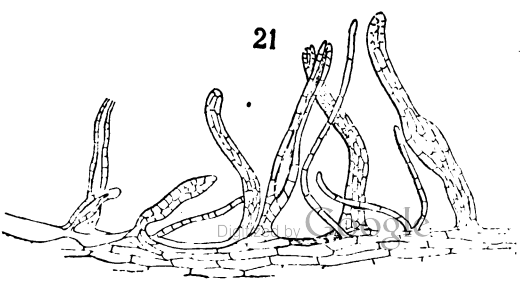












Digitized by Google

Digitized by Google

Fig. 14. *Catharinea undulata.* Ergrüntes Rhizoid.
„ 15. *Mnium undulatum.* Regeneration eines Blattes.
„ 16, Idem. Anfang der Ausläuferbildung.
„ 17. *Hookeria quadrifaria.* Entwicklung von Protonemafäden an der Schnittfläche des apicalen, aufwärts gekehrten Poles.
„ 18. *Hookeria quadrifaria.* Blattinitialen.
„ 19. Idem. Turgorerscheinungen im Blatte. Die Initialen (c) zeigen keine oder geringe Plasmolyse.
„ 20. *Mnium undulatum.* Austreibende Blattinitiale.
„ 21. Idem. Bildung von Archegonien seitlich am Stamm.

Digitized by Google

ÜBERSICHT DER BENUTZTEN LITERATUR.

CORRENS, C. Untersuchungen über die Vermehrung der Laubmoose durch Brutorgane und Stecklinge, 1899.

CRONE, G. VON DER, Ergebnisse von Untersuchungen über die Wirkung der Phosphorsäure auf die höhere Pflanze. Diss. Bonn 1904.

FOREST HEALD, F. DE, A study of Regeneration as exhibited by Mosses. Botanical Gazette. 1898.

GOEBEL, K. Organographie der Pflanzen, 1898.

„ Beiträge zur Kenntnis australischer und neuseeländischer Bryophyten, Flora 1906.

„ Allgemeine Regenerationsprobleme. Flora 1905 Ergänzungsband.

„ Über Jugendformen von Pflanzen und deren künstliche Wiederhervorrufung. Sitzungsberichte der königl. Bayrischen Academie. 1896.

HABERLANDT, G. Physiologische Pflanzenanatomie, 3. Auflage 1904.

MÜLLER—THURGAU, H. Die Sporenvorkeime und Zweigvorkeime der Laubmoose. Arbeiten des botan. Institutes in Würzburg. Bd. I. 1874.

PAUL, H. Beiträge zur Biologie der Laubmoos-rhizoiden. Englers Jahrbücher. Bd. 32.

Digitized by Google

Ueber Brutkörper bildende Laubmoose

VON

W. J. JONGMANS.

EINLEITUNG.

Zweck dieser Untersuchungen waren die Brutkörper von *Oedipodium Griffithianum*, *Georgia pellucida* und *Aulacomnium*. Auch die weitere Lebensgeschichte von *Oedipodium* wurde mit in Untersuchung gezogen. Weil nun diese Pflanze eine sehr besondere Stelle in der Familie der *Splachnaceen* einnimmt, war es von grossem Interesse sie mit anderen *Splachnaceen* zu vergleichen. Die Resultate zu welchen ich bei diesen vergleichenden Untersuchungen gekommen bin, werde ich hier nur so weit sie direct mit *Oedipodium* zusammenhängen, verwenden, die übrigen denke ich in einer besonderen Arbeit später zu veröffentlichen.

Die Herren Kaalaas in Christiania und Havaas in Granvin Hardanger besorgten mir mein *Oedipodium*-Material, die Herren Dr. Dusèn und Geheeb stellten mir *Tayloria Dubyi* und *Splachnobryum*-Arten zur Verfügung, an dieser Stelle bezeuge ich Ihnen meinen herzlichen Dank, den beiden letzten auch noch für die brieflichen Auskünfte in verschiedenen Fragen.

Was *Aulacomnium palustre* betrifft, so fand ich hier keine Abweichungen von den herrschenden Auffassungen, die Brutorgane sind hier metamorphosierte Blätter, jeder Brutkörper entspricht einer ganzen Blattanlage. *Aulacomnium*

Digitized by Google

androgynum und *Georgia* dagegen zeigten teils interessante neue Details, teils Abweichungen von den herrschenden Meinungen. Das Material von *Georgia* stammte von verschiedenen Stellen aus der Umgegend von München, das von *Aulacomnium* von Lisse bei Leiden und von Weert (Holland).

Ich werde erst *Oedipodium* behandeln, um dann auch die Brutorgane der übrigen *Splachnaceen*, und von *Georgia* und *Aulacomnium* zu besprechen.

Diese Arbeit wurde im pflanzenphysiologischen Institut in München auf Veranlassung und unter Leitung des Herrn Professors Dr. Goebel ausgeführt. Meinem hoch verehrten Lehrer spreche ich an dieser Stelle meinen herzlichsten Dank aus für seine mir in so vielen Hinsichten zuteil gewordene Unterstützung.

Digitized by Google

OEDIPODIUM GRIFFITHIANUM.

Die Familie der *Oedipodiaceae,* wozu nur eine Art gehört hat im Laufe der Zeit verschiedene Stellen im System eingenommen. Die Pflanze wurde von dem Prediger Griffith an der Ostseite des Snowdongipfels in Wales entdeckt und von Dickson [1]) *Bryum Griffithianum* genannt. Nach anderen Autoren wurde sie *Gymnostomum Griffithianum* Sm. [2]), *Physcomitrium Griffithii* Angstr. [3]), *Splachnum Griffithianum* [4]) With et Hull und *Splachnum succulentum* Brid. [5]) genannt. Der Name *Oedipodium Griffithianum* und die Zugehörigkeit zu den *Splachnaceen* wurde von Schwaegrichen [6]) festgestellt. Schimper [7]) betrachtete *Oedipodium* erst als Gattung der *Tayloriaceae,* später [8]) als eine eigene Familie in der Unterabteilung der *Splachnaceae.* Lindberg [9]) stellte unsere Pflanze als eigene Familie

---

1) Dickson Fasciculi (IV) plantarum cryptogamicarum Britanniae. London 1785—1801.

2) Smith and Sowerby, The English Flora. London 1824—36.

3) Dispositio muscorum in Scandinavia hucusque cognitorum. Upsaliae 1842.

4) Hooker et Taylor, Muscologia britannica. London 1818.

5) Bridel, Muscologia recentiorum omnium muscorum frondosorum hucusque cognitorum. Gothae 1797—1822.

6) Johannes Hedwig, Species muscorum frondosorum. Opus postumum, Suppl. II. Leipzig 1823.

7) Schimper, Synopsis Muscorum, Ed. I, p. 295.

8) id. Ed. II, p. 354.

9) Utkast till en naturlig Gruppering af Europas Bladmosses med opstelled Frugt. Helsingfors 1878.

Digitized by Google

zwischen *Splachnaceen* und *Tortulaceen*; C. Müller [1]) hat die *Splachnaceae* als Untergruppe der *Funarioideae* neben den *Funariaceen.*

Er betrachtet *Oedipodium* als eine Gattung der *Splachnaceae verae,* und als nahe verwandt mit *Hymenocleiston* und *Splachnobryum.*

Diese Gattung *Splachnobryum* weicht in dem Fruchtbau von den anderen *Splachnaceen* ab. Sie hat eine *Pottiaceen*-ähnliche Frucht, weshalb sie von Brotherus [2]) zu den *Pottiaceen* gebracht wird. Sie stimmt aber in sovielen Beziehungen besonders mit *Hymenocleiston* und *Oedipodium* überein, dass ich glaube, dass C. Müller wirklich recht hat, wenn er die Gattung als Untergruppe zu den *Splachnaceen* bringt.

Von Brotherus [3]) wird *Oedipodium* als eigene Familie neben den *Splachnaceen, Disceliaceen* und *Funariaceen* angeführt.

Bei der Besprechung der Pflanze werde ich ausgehen von den Sporen, um dann nach einander Protonema, Blätter, Stämmchen, Fortpflanzungsorgane und Sporogon und vegetative Vermehrung zu behandeln.

Die Sporen sind mittelgross (nach Roth 22—27 μ) ziemlich regelmässig tetraëdrisch, grünlich gelb bis rotbraun und warzig papillös über der ganzen Oberfläche mit Ausnahme einer Stelle am spitzen Ende, welche glatt ist und auch viel heller. An dieser Stelle findet später die Keimung statt. Wenn die Sporen keimen, springt nämlich dort die Exine mit 3 Längsspalten auf und der Keimschlauch tritt hervor. Dieser ist ziemlich chlorophyllreich und wächst zunächst zu einem kurzen Zellfaden aus. Sämmtliche Wände sind gerade. Bei Torfkulturen wird der Faden nicht

1) Genera muscorum.
2) Natürliche Pflanzenfam. p. 420.
3) id. p. 508.

Digitized by Google

mehr als acht Zellen lang. Diese sind kurz und breit und ziemlich chlorophyllreich. In der Endzelle entsteht, nachdem diese und die übrigen Zellen des Fadens mit Ausnahme der 2—4 unteren in die Breite gewachsen sind, nun meistens durch zwei schiefe Wände eine 2 schneidige Scheitelzelle mit welcher dann das als **Protonemablatt** bezeichnete Gebilde weiter wächst. Mehrere Zellen des Fadens teilen sich zugleicherzeit und auch nachträglich noch durch Quer- und Längswände, so dass schliesslich nur noch 2—4 ungeteilte Zellen, die unteren, übrig bleiben. Die letzten Zellen, welche sich geteilt haben, schwellen einigermassen auf, an diesen bilden sich dann bald Rhizoiden. Oft bildet auch eine der ungeteilt bleibenden Zellen ein Rhizoid, ausnahmsweise selbst alle, im Allgemeinen sterben die nicht geteilten Zellen, die diesen als Fuss zu bezeichnen Teil mit den Sporen verbinden, bald ab. Nachdem nun das so angelegte Protonemablatt, wie man diese Protonema-Anhänge bei *Oedipodium* und *Georgia* nennt, einige Zeit mit der zweischneidigen Scheitelzelle weiter gewachsen ist, wird früher oder später und zwar bei den best wachsenden Exemplaren am frühesten, diese aufgeteilt und Randwachstum, und zwar wie bei Farnen durch Periklinen und Antiklinen, tritt dafür an die Stelle. Nicht immer aber kann man im Laufe der Entwicklung eine Scheitelzelle beobachten. Sehr oft kommt es vor, dass die Zellen der Fäden im Anfang sich nur durch senkrecht auf einander stehende Wände teilen, während dann später in den äusseren Zellen auch schiefe Wände auftreten können, so dass der ganze Aufbau des fertigen Blattes ein sehr unregelmässi-

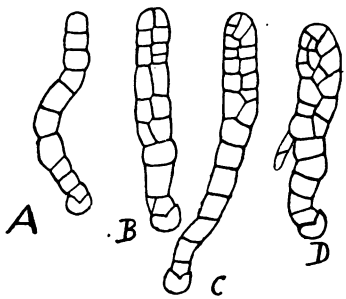


Fig 1. Verschiedene Entwicklungsstadiën der Protonemablätter. A noch fadenförmig. B ohne zweischneidige Scheitelzelle. C und D mit zweischn. Scheitelzelle.

Digitized by Google

ger wird. Auch können im Anfang nur solche senkrecht auf einander stehende Wände auftreten und erst, nachdem dies einige Zeit so weitergegangen ist, eine zweischneidige Scheitelzelle angelegt werden mit der dann das Blatt wieder weiter wächst, bis diese schliesslich auch wieder aufgeteilt wird. Hieraus geht hervor, dass bei den fertigen Protonemablättern der Bau sehr unregelmässig sein kann, was man an den beigefügten Figuren (fig. 1) deutlich sehen kann. Die ganze Keimung hat also viel Übereinstimmung mit der von den *Sphagnum*-Sporen [1]), denn auch hier wird im Anfang ein kurzer Faden gebildet, nur geht der Faden viel rascher zur Flächenbildung über. Auch hier kann entweder eine Scheitelzelle oder Randwachstum auftreten, nur ist hier das Auftreten einer Scheitelzelle weniger häufig als bei *Oedipodium*. Ob auch bei *Oedipodium* die auswachsenden Rhizoiden an ihren Enden wieder flächenförmig werden können, habe ich bis jetzt nicht beobachten können mit Ausnahme von einem unten zu erwähnenden Fall.

Versuche, die frischen Sporen auch in einer vollständigen Nährlösung keimen zu lassen, schlugen im Anfang ganz fehl, nach einiger Zeit hatten einige Sporen ziemlich lange Keimfäden gebildet, die aber nicht zur weiteren Entwicklung kamen. In einer Nährlösung ohne Calcium hatten sie nach einigen Monaten etwas besser gekeimt und lange Zellfäden gebildet, die an Stellen, wo sie über Wasser reichten, ganz kleine Flächen gebildet hatten. Immerhin war auch hier Keimung Ausnahme.

Im Anfang meiner Untersuchungen verfügte ich nur über Herbarmaterial. Es ist nun eine bekannte Tatsache, dass es Moossporen giebt, welche eine sehr lange Austrocknungsperiode ertragen können, erwähnt doch Schim-

1) Goebel. Organographie p. 344. Auch konnte ich es wahrnehmen in meinen eigenen Nährlösung-Kulturen wo, nebenbei bemerkt, sämmtliche Sporen Flächen bildeten und nie längere Fäden auftraten, in Uebereinstimmung mit dem was auch Goebel hierüber mitteilt.

Digitized by Google

per,[1]) dass er Sporen ausgesät hat von Moosen, welche mehr als fünfzig Jahre im Herbar gelegen hatten und dass diese genau so gut gekeimt hatten, wie die frischen. Leider giebt er nicht an, bei welchen Arten er es versucht hat. Bei meinem Material waren Sporogone mit reifen Sporen, gesammelt 1886. Diese habe ich ausgesät in einer Nährlösung ohne Calcium, nach einem Monat hatten fast sämmtliche Sporen gekeimt und bildeten ziemlich lange Protonemafäden, welche an der Stelle, wo sie die Oberfläche des Wassers erreichten, senkrecht emporwuchsen und wieder flächenförmig wurden und stellenweise nach einiger Zeit schon Knospen gebildet hatten. Im Allgemeinen waren die Zellen dieser Fäden viel länger und schmäler als die der Torfkultur, auch blieben viel mehr Zellen ungeteilt; oft wurden aus den unteren Zellen der Fäden Seitenfäden gebildet, welche ziemlich lang unter Wasser weiterwachsen konnten. Wenn diese Seitenfäden, welche im Anfang, aus langen schmalen Zellen mit schiefen Wänden bestanden,[2]) über Wasser reichten, wurden die neu gebildeten Zellen kürzer und reicher an Chlorophyll und schritten die Fäden genau so zur Flächenbildung wie die primären. Bei dem Übergang der langgestreckten Zellen in die kürzeren kann man dann noch sehen, wie statt der schiefen Wände gerade auftreten (fig. 2).

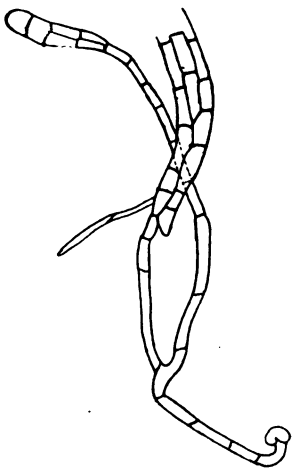


Fig. 2. Spore aus dem Material in 1886 gesammelt mit einer Protonemaverzweigung und Flächenbildung an beiden Zweigen.

Die Tatsachen, dass die alten Sporen unter denselben Bedingun-

1) Rech. anatomiques et morphologiques sur les mousses. 1848 p. 12.

2) Diese Seitenfäden sahen genau wie Rhizoiden ohne braungefärbte Wände aus.

Digitized by Google

gen besser keimen als die frischen und dass meine Aussaat von frischen Sporen, auf Torf in der ersten Zeit absolut nicht keimte und dies erst getan hat nachdem die Kultur aus Versehen einige Tage ausgetrocknet gewesen war, und schliesslich, dass Sporen, welche fortwährend feucht gehalten waren, selbst nach vier Monaten nicht gekeimt hatten, sprechen dafür, dass eine Austrocknungsperiode, wenn dann vielleicht auch nicht absolut notwendig, doch für die Oedipodiumsporen sehr vorteilhaft ist.

Goebel[1]) erwähnt, dass die Flächenbildungen bei *Georgia*, *Oedipodium*, *Tetradontium* und *Diphyscium* zu betrachten sind als einzelne seitliche Protonema-Äste, die sich zu Zellflächen oder Zellkörpern umbilden. Aus meinen Untersuchungen geht jedoch hervor, dass dieses für *Oedipodium* nicht zutrift. Immer bildet sich hier die Hauptachse, überhaupt der einzige Faden, welcher aus der Spore entsteht, in eine Fläche um, so dass man *Oedipodium* in dieser Beziehung ganz gut mit *Sphagnum* in eine Reihe stellen kann. Die Hauptachse bleibt bei *Oedipodium* wie bei *Sphagnum* immer unverzweigt, nur einmal konnte ich, abgesehen von den Verzweigungen bei der Wasserkultur, eine Verzweigung beobachten, bei der dann beide Fäden flächenförmig wurden. Auch bei *Georgia* kommt es, wie auch Correns[2]) schon bemerkt hat, vor, dass Protonemablätter nicht nur aus Seitenfäden, sondern auch aus der Spitze des Hauptfadens hervorkommen. Immerhin ist es hier aber nach meinen Beobachtungen Ausnahme und ein grosser Unterschied zwischen *Georgia* und *Oedipodium* ist noch, dass bei dieser Pflanze, wie bei *Sphagnum*, das fadenförmige Protonema auf einige und dann noch durch die Kürze abweichende Zellen reduziert ist, während es bei *Georgia* sehr lange Fäden bildet, die aus normalen,

1) Goebel, Ueber die Jugendzustände der Pflanzen. Flora. Vol. 72, p. 9.
2) Correns, Vermehrung der Laubmoose, p. 197.

Digitized by Google

viel längeren als breiten Zellen bestehen. Zwischen den Protonema-Anhängen von *Oedipodium* und *Sphagnum* giebt es aber noch sehr grosse Unterschiede, erstens die definitive Form, und zweitens, dass diese Gebilde bei *Sphagnum* flach dem Substrat anliegen, während sie bei *Oedipodium* im Allgemeinen senkrecht emporwachsen.

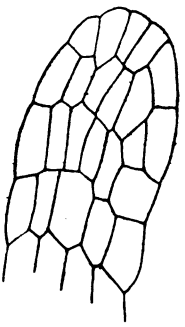


Fig. 3. Oberer Teil eines ausgewachsenen Protonemablattes.

Immerhin kann auch hier, wie wir später bei den Verzweigungen der Protonemablätter sehen werden, ein Teil dem Substrat anliegen.

Im ausgewachsenen Zustande sind die Protonemablätter meist zungenförmig (fig. 3) mit stumpf abgerundetem Ende und erreichen eine Länge von höchstens einigen m.M. Sie wachsen wie gesagt senkrecht nach oben. Meistens kann man an der Stelle, wo die ungeteilt gebliebenen Zellen in die Lamina übergehen eine scharfe Umbiegung bemerken. In meinen Kulturen bildeten sie verhältnissmässig wenige und kurze Rhizoiden, die meistens auf die Zellen des Fusses beschränkt waren. Die Zellen sind bei den älteren Protonemablättern im oberen Teil ungefähr isodiametrisch und sehr chlorophyllreich und zeigen oft schon die bei den gewöhnlichen Blättern vorkommenden kollenchymatischen Verdickungen in den Zellecken. Im unteren, schmäleren Teil sind die Zellen sehr langgestrecht und enthalten sehr wenig Chlorophyll.

In vielen Fällen behält das Protonemablatt nun diese Form bei, sehr oft aber ist es gelappt und ausgebuchtet (fig. 4*b*). Diese Ausbuchtungen entstehen dadurch, dass zwei bis vier Randzellen sich rascher teilen als die übrigen und zwar durch Wände dem Rande parallel. Dadurch entsteht also eine Ausbuchtung, welche ohne Scheitelzelle weiter wächst. In anderen Fällen findet auch wohl im

Digitized by Google

Anfang eine Vorwölbung von zwei bis drei Randzellen statt, dann aber entsteht in einer dieser eine gewöhnliche zweischneidige Scheitelzelle, mit welcher dann der neue Teil einige Zeit weiter wächst. Meistens sehr bald wird aber auch hier die Scheitelzelle aufgeteilt. Diese Ausbuchtungen stimmen der Art der Entstehung und der Form nach viel überein mit denen der Prothalliën von *Gymnogramme leptophylla* Desv. [1]) Auch hier werden sie durch Steigerung des Wachstums einiger Randzellen hervorgebracht.

In diesen Fällen geht das Gewebe des primären Blattes einfach ohne Weiteres in das der Ausbuchtung über. Es kann aber noch ein dritter Fall eintreten. Eine der Randzellen, aber auch nie mehr als eine, wölbt sich vor, und

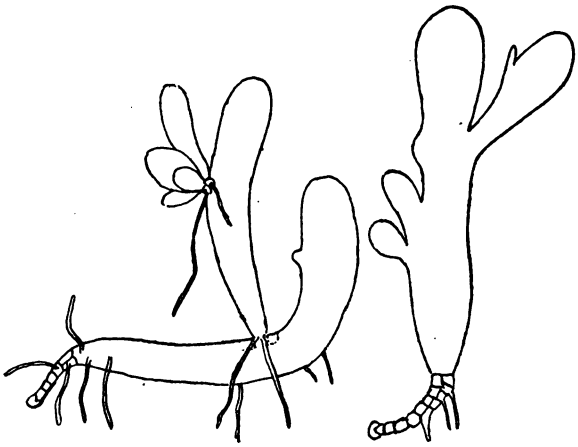


Fig. 4. *a.* **Altes Protonemablatt mit sekundärem Protonemablatte an welchem sich eine Knospe mit mehreren Blättern gebildet hat.**
b. **Protonemablatt mit Ausbuchtungen durch Teilung mehrerer Randzellen entstanden.**

erfährt einige Teilungen so, dass eine zweischneidige Scheitelzelle entsteht. Diese wächst dann aus zu einem neuen Protonemablatte (fig. 4*a*). An der Stelle, wo dieses dem

1) Goebel. Entwicklungsgeschichte des Prothalliums von *Gymnogramme leptophylla* Dev. Bot. Ztg. 1877 p. 684.

Digitized by Google

primären aufsitzt, schwellen die Fusszellen auf und bald wächst dort eine Anzahl Rhizoiden aus. An diesem zweiten Blatte entsteht dann meistens noch ein drittes in derselben Weise. Die auf einander folgenden Blätter stehen dabei nicht in denselben sondern in gekreuzten Flächen. Es kommt mehrfach vor, dass das primäre Blatt so zu sagen hinuntergezogen wird durch die an der Ansatzstelle des sekundären Blattes ausgewachsenen und in das Substrat eindringenden Rhizoiden und so flach dem Substrat anliegt und mittelst vieler Rhizoiden, welche besonders aus der unteren Hälfte des primären Blattes auswachsen, darin noch mehr befestigt wird. Das sekundäre Blatt wächst dann wieder senkrecht hinauf. Die Bildung dieser sekundären Blätter kann man am besten vergleichen mit der der gewöhnlichen am *Georgia*-Protonema, denn auch diese entstehen aus nur einer Zelle.

An diesen Protonemablättern entstehen nun die jungen **Stammknospen.** Eigentümlich ist, dass, wenn Verzweigungen auftreten, wie bei den aus Sporen hervorgekommenen meistens der Fall ist, die Knospen nie aus den primären Blättern entstehen, sondern erst aus den sekundären oder tertiären.

Die jungen Knospen entstehen nicht aus einer Anschwellung der Basis des Protonemablattes, wie bei *Georgia* der normale Fall ist, sondern immer aus einer Randzelle. Nie habe ich in meinen Kulturen und auch nicht an den aus Norwegen mir geschickten Pflanzen beobachten können, dass eine Randzelle im unteren Teil des Protonemablattes ausgewachsen war, sondern immer in der Mitte oder noch höher hinauf. Der Entstehungsvorgang der Knospen ist der folgende. Eine Randzelle wölbt sich vor und teilt sich durch eine Wand dem Rande parallel. Die untere Zelle teilt sich besonders durch nahezu senkrecht auf dem Rande stehende Wände und dadurch entsteht ein kleiner Zellkörper der die durch drei Teilungen zu Stammscheitelzelle gewordene obere Zelle trägt. Der Vorgang ist hier genau

Digitized by Google

so, wie ich ihn später bei der Entstehung der Knospen auf isolierten Protonemablättern und gewöhnlichen Blättern beschreibe.

Die ersten **Blätter**, die jetzt sich entwickeln, kann man unmöglich von den Protonemablättern unterscheiden. Sie stehen sehr dicht gedrängt und nur durch die Gegenwart der dazwischen stehenden Schleimhaare stellen sie sich als Stammblätter heraus. Man kann nun an diesen und den später entstehenden Blättern alle möglichen Übergänge zwischen Protonemablättern und gewöhnlichen finden. Die jüngsten sind, wie gesagt, den Protonemablättern fast ganz gleich, ohne Rippe, sie stellen bald ihr Scheitelwachstum ein, und haben noch sehr wenig verdickte Zellecken. Das erste Zeichen der Annäherung zu den Blättern ist das Auftreten einer Rippe in der Form einer doppelten Zellschicht in der Mitte des Blattes, auch werden dort die Zellen etwas länger gestreckt. Die später auftretenden Blätter haben im Anfang und selbst oft ziemlich lang Scheitelwachstum. Früher oder später aber wird auch hier die Scheitelzelle aufgeteilt und tritt Randwachstum an die Stelle. (fig. 5).

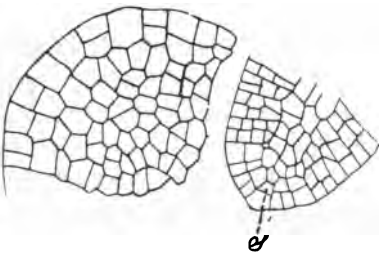


Fig. 5. Spitzen von jungen gewöhnlichen Blättern mit Randwachstum, bei *s* kann man noch die alte Scheitelzelle erst durch eine Wand geteilt bemerken.

Die einzigen bis jetzt bekannten Beispiele, dass Moos-Blätter ganz oder teilweise ohne zweischneidige Scheitelzelle wachsen, sind *Buxbaumia* und *Andreaea*. Bei *Buxbaumia* liegen aber die Verhältnisse ganz anders, hier tritt nach der Beschreibung Goebel's [1]) überhaupt keine Scheitelzelle auf. In der Gattung *Andreaea* aber findet man

1) Goebel. Archegoniatenstudiën Flora Bd. 76 p. 98.

Digitized by Google

alle Übergänge. Man kann hier beobachten: [1]) „Blätter, die die gewöhnliche Anordnung zeigen, andererseits solche, die zwar zuerst eine zweischneidige Scheitelzelle zeigen, dann aber zu einfacher Antiklinen- und Periklinenfächerung übergehen (*A. petrophila*) und endlich tritt bei *A. rupestris* diese von Anfang an auf." In *A. petrophila* haben wir also einen ähnlichen Fall wie bei *Oedipodium*. Dass bei *Oedipodium* die normalen Blätter so viele Übereinstimmung mit den Protonemablättern zeigen und dass alle mögliche Übergänge zwischen den beiden vorliegen, dürfte dazu leiten diesen Aufbau, wie Goebel es auch für *Buxbaumia* und *Andreaea* tut, als einen primitiveren zu betrachten, um so mehr als, wie wir später sehen werden, noch viele andere Gründe vorliegen um *Oedipodium* als eine primitive Form unter den *Splachnaceen* zu betrachten.

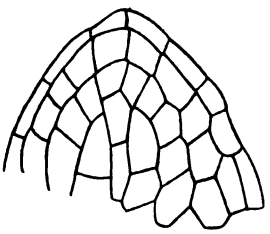


Fig. 6. *Tayloria Dubyi*. Spitze eines Blattes mit Randwachstum.

Oedipodium ist aber nicht die einzige Art unter den *Splachnaceen* bei der die Blätter ihr Scheitelwachstum einstellen. Bei *Tayloria Dubyi* (Duby) Broth [2]), einer Patagonischen Art, wachsen die Blätter ziemlich lang mit einer Scheitelzelle. Schliesslich aber wird diese aufgeteilt und deutliches Randwachstum (fig. 6) tritt dafür an die Stelle.

---

1) Goebel. Organographie p. 353.

2) Diese *Tayloria Dubyi* soll synonym sein mit *Hymenocleiston magellanicum* Duby beschrieben von Duby in Mémoires de la societé de physique et d'histoire naturelle de Genève Tome XXIV prem. part. Genève 1874—75 p. 361—74. Dieses *Hymenocleiston* hat nach der Beschreibung von Duby und auch nach C. Müller (Genera muscorum), der die neue Gattung aufrecht erhält, viel Uebereinstimmung mit *Oedipodium* und war mir deshalb interessant. Als ich aber die Exemplare von *Tayloria Dubyi* = *Hymenocleiston* untersuchte, fand ich grosse Abweichungen zwischen diesen Pflanzen und der Diagnose von Duby. Duby sagt u. a.: Dès que le stipe s'allonge, la coiffe tombe et le stipe blanc, extrêmement flexible, semble

Digitized by Google

Am meisten auffallend ist aber *Splachnobryum aquaticum* C. Müll, eine Wasserform aus Somalia. Schon in sehr jungen Stadien wird hier das Scheitelwachstum eingestellt und die Blätter wachsen mit einem deutlichen und ziemlich regelmässigen Randwachstum weiter (fig. 7). Die anderen *Splachnobryum*-Arten, die mir zur Verfügung standen, haben kein eigentliches Randwachstum. Wohl kann es vorkommen, dass das Blatt einigermassen gesäumt ist, und dass dabei auch die Scheitelzelle eine Querteilung hat, aber zu einem

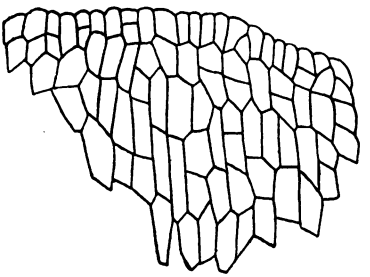


Fig. 7. *Splachnobryum aquaticum*. Oberer Teil eines Blattes mit Randwachstum.

---

ne pas pouvoir porter la capsule noirâtre, se recourbe et retombe en petits fils blancs sur les tiges fort serrées. Hiervon ist nun aber bei *Tayloria Dubyi* nicht die Spur zu bemerken. Auch soll *Hymenocleiston* kein Peristom haben, während *T. Dubyi* ein sehr schönes hat.

Bemerkenswert ist nun, dass die beiden Pflanzen im sonstigen Bau übereinstimmen. Herr Dusèn, der diese *Tayloria* in Patagoniën gesammelt hat, und Herr Geheeb waren so freundlich mir brieflich in dieser Beziehung Auskunft zu geben. Sie schreiben den Unterschied einem Observationsfehler von Duby zu. Herr Geheeb schrieb mir: Duby hat vielleicht unreife Sporogone gehabt und dadurch das Peristom übersehen. Herr Dusèn hat die *Tayloria* mit einigen ihm von C. Müller geschenkten sterilen Stämmchen von *Hymenocleiston* vergleichen können und fand, dass, wie ich oben sagte, sämmtliche sonstige Eigenschaften der beiden Pflanzen übereinstimmten. Trotzdem ist es mir noch ein Rätsel, wie Duby solche Observationsfehler hat machen können. Immerhin wäre noch in dieser Frage interessant, fertiele Originalexemplare mit einander vergleichen zu können. Jedenfalls, was für mich jetzt sehr wichtig ist, ist die von Dusèn als *Tayloria Dubyi* verteilte Pflanze wirklich diese Art und interessant ist es, dass diese Pflanze, ob sie nun synonym ist mit *Hymenocleiston* oder nicht, so viele Uebereinstimmungen mit *Oedipodium* zeigt.

Digitized by Google

Randwachstum kommt es nicht. In der Gattung *Splachnobryum* nimmt das *S. aquaticum* eine sehr abweichende Stellung ein, wie wir später noch wiederholt bemerken werden. Um so mehr ist dies auffallend, weil sämmtliche andere *Splachnobryum*-Arten nur durch so kleine Unterschiede von einander abweichen, dass man sie fast als eine Sammelart mit einigen kleinen Varietäten auffassen kann.

Die Blätter von *Oedipodium* stehen am Stämmchen in einer Divergenz $^2/_5$. Vollständig ausgebildet sind sie gross mit langem, schmalem, am Stämmchen ziemlich weit herablaufendem Grunde, länglich oval, ganzrandig und oben stark abgerundet. Der untere Teil besteht aus sehr langen, zarten und wenig Chlorophyll-führenden rechteckigen Zellen, mehr nach oben werden die Zellen kürzer und gehen allmählich in die rundlich sechseckigen Zellen des oberen Teils über. Die Zellen sind hier zwar viel kleiner als im unteren Teil, an sich aber doch noch immer recht gross und locker, äusserst fleischig und weich, aber mit deutlich verdickten Zellecken (fig. 8) versehen, mehr nach unten werden diese Verdickungen weniger stark um bei den sehr grossen, langen Zellen des Blattfusses vollständig zu verschwinden.

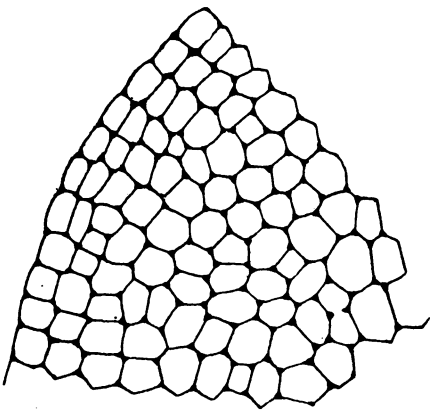


Fig. 8. *Oedipodium.* Oberer Teil eines Blattes mit verdickten Zellecken.

Die rundlich sechseckigen Zellen führen viel Chlorophyll nur mit Ausnahme der schmalen und meistens viereckigen Randzellen, welche viel weniger haben. Zwischen den immer

Digitized by Google

auch verlängerten Randzellen des unteren Blattteils findet man mehrere kleinere Zellen, welche zu wimperähnlichen Rhizoiden ausgewachsen sind. (fig. 9). Diese Rhizoiden führen nun in den in der Nähe der Randzellen gelegenen Zellen noch ganz wenige, winzige Chlorophyllkörner. Bei

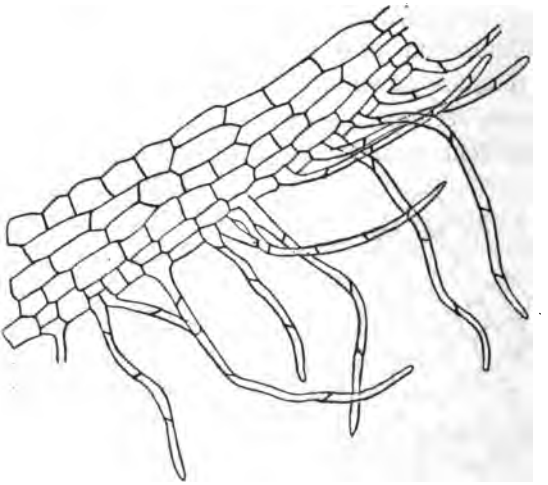


Fig. 9. Unterer Teil des Blattrandes mit wimperähnlichen Rhizoiden.

einigen Blättern sind fast alle untere Randzellen zu solchen Rhizoiden ausgewachsen. Diese Rhizoiden sollen nach Nyman [1]) in Verbindung mit den ablaufenden Blattbasen und dem Rhizoidmantel des Stämmchens eine äussere Wasserleitung im Sinne Oltmanns [2]) befördern. Auf diese äussere Wasserleitung werde ich bei der Besprechung des Stämmchens noch zurückkommen.

---

1) Nyman. Om bygnaden och utvecklingen af Oed. Griff. Akad. Afhandling Upsala 1896.

2) Oltmans. Ueber die Wasserbewegung in der Moospflanze Cohn's Beiträge zur Biologie der Pflanzen. Band IV Heft 1.

Digitized by Google

Was das Zellnetz anbelangt haben die Blätter von *Oedipodium* am meisten Übereinstimmung mit den *Splachnobryum*-Arten und mit *Tayloria Dubyi* und *tenuis*. Nur sind sie bei *Spl. aquaticum* auch im oberen Teil durch das stark ausgesprochene Randwachstum mehr rechteckig und bei *T. Dubyi* sind die Zellwände etwas mehr gleichmässig verdickt.

Das ganze Blatt ist mit Ausnahme der nach unten sehr breit sich verflachenden Rippe einschichtig. Die Rückenzellen der Rippe sind sehr lang gestreckt und verhältnismässig schmal und führen, wie auch die sonst in Form wenig von den übrigen Blattzellen abweichenden basalen Zellen, mehr Chlorophyll als die Laminazellen. An den Rückenzellen kann man auch keine verdickte Zellecken unterscheiden, die Wände sind vielmehr gleichmässig etwas verdickt. Die basalen Zellen der Rippe haben im Allgemeinen sehr wenig verdickte Wände.

Im oberen Teil der bis etwa auf zwei Drittel des Blattes reichenden Rippe nähert sich die Form der Zellen allmählich der der oberen Laminazellen, bis an die Endzelle kann man aber die Rippenzellen dadurch erkennen, dass sie mehr Chlorophyll führen.

Im unteren Teil der Rippe können auch aus den Rückenzellen viele Rhizoiden entstehen, die unter Umständen sehr viel zur Verstärkung des Rhizoidmantels beitragen können.

Auf dem Querschnitt zeigt die Rippe im Allgemeinen ein weiches Gewebe (Fig. 10). Eine eigentliche Differenzierung kann nicht konstatiert werden. Nur durch Anwesend sein oder Fehlen des Inhalts sind sie zu unterscheiden, weil die Rücken- und Basalzellen wie gesagt sehr chlorophyllreich sind. Die Rippe besteht dann aus einer ziemlich gleichmässigen Schicht von Rückenzellen (Epidermiszellen Lorentz) welche an der Aussenseite etwas verdickt sind. An der Basis kann man auch eine durchlaufende Schicht Basalzellen sehen. Dazwischen liegt ein lockeres Füllge-

Digitized by Google

webe. Die Anzahl der Rücken- und Basalzellen ist sehr wechselnd. Durch nachträgliche Teilung in den benach-

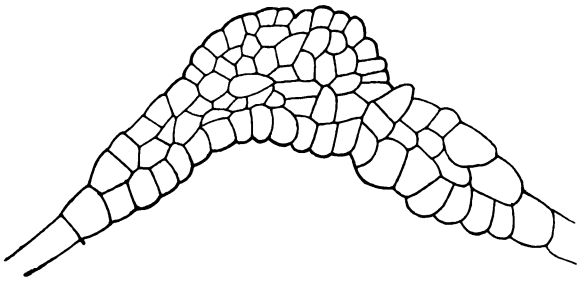


Fig. 10. Querschnitt durch eine Rippe von *Oedipodium*. Man kann eine durchlaufende Basalschicht unterscheiden. Differenzierung der verschiedenen Zellen ist hier nicht zu bemerken.

barten Laminazellen wird die Rippe verbreitert. Auf einem Längsschnitt sieht man, dass die inneren Zellschichten etwas längere, dünnwandigere und mehr zugespitzte Zellen haben als die beiden äusseren. Schneidet man eine Rippe mehr nach oben zu, so nimmt das Füllgewebe sehr rasch ab (Fig. 11) und schliesslich kann dann die Rippe bis auf 2 Basalzellen (Deuter im Sinne Lorentz [1]) und 3 Epidermiszellen beschränkt sein. Obgleich man hieraus sehen kann, dass die Basalschicht aus zwei basalen Deutern sich entwickelt hat, ist es doch nicht richtig mit Roth [2]) zu sagen: Blattquerschnitt mit zwei basalen Deutern (im Sinne Lorentz). Als systematisches Merkmal muss man doch sicher einen Schnitt durch eine normale Rippe, dort wo sie gut entwickelt ist, verwenden und dann sieht man nicht zwei Basalzellen sondern eine durchlaufende Basalschicht. Nach der Abbildung des Querschnittes auf Taf.

---

1) Lorentz. Studiën zur vergl. Anatomie der Laubmoose I Flora 1867.

2) Roth. Die Europäischen Laubmoose. p. 519.

Digitized by Google

XLII hat er das Blatt geschnitten an einer Stelle, wo die Rippe fast verschwunden ist. Auch bildet er dort eine Art

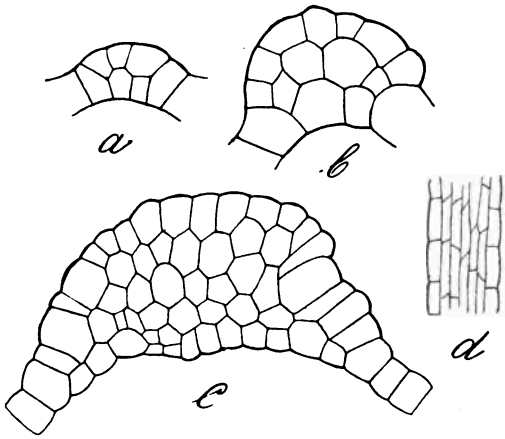


Fig. 11. a—c. Verschiedene Querschnitte durch Rippen von *Oedipodium*. *a.* am Meisten reduziert. *d.* ein Längsschnitt durch eine Rippe, die Zellen des inneren Gewebes sind etwas länger als die der äusseren Schichten und haben meist schiefe Querwände.

Begleitergruppe (gleichfalls im Sinne Lorentz genommen, die eigentliche Bedeutung dieser bei fast allen sonstigen *Splachnaceen*-Blättern vorkommenden Gruppe kleiner dünnwandiger Zellen wird die von Hydroiden sein) ab, und diese ist bei *Oedipodium* sicher nicht von den anderen Zellen unterschieden.

Von sämmtlichen anderen *Splachnaceen* zeigt *Tayloria Dubyi* (Fig. 12) welche auch sonst so viele Übereinstimmung mit *Oedipodium* hat, die meiste Ähnlichkeit, besonders, wenn man im mittleren Teil des Blattes einen Querschnitt macht. Auch hier kann man eine durchlaufende Schicht von Rückenzellen, die mit einigermassen verdickten bräunlichen Wänden versehen sind, beobachten und eine gleichfalls durchlaufende Schicht von 6—7 Basalzellen.

Digitized by Google

Die sogenannten Füllzellen nehmen, ohne von den genannten Schichten scharf unterschieden zu sein, den übrigen

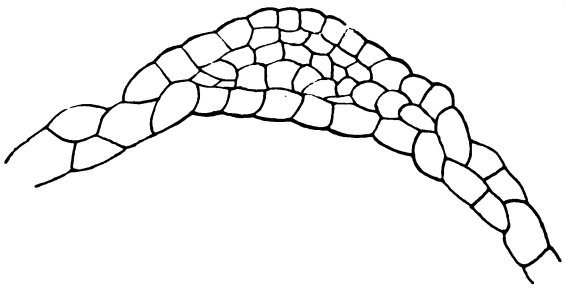


Fig. 12. Querschnitt durch eine Rippe von *Tayloria Dubyi* auch mit durchlaufender Basalschicht und ohne weitere Differenzierung.

Raum ein. Auch verflacht sich die Rippe hier durch nachträgliche Teilung von Laminazellen.

Bei *Splachnum*-Arten und bei *Tetraplodon mnioides* und *angustatus* findet man auch sehr wenig differenzierte Rippen, bei den beiden *Tetraplodon*-Arten sind auch die Rippen

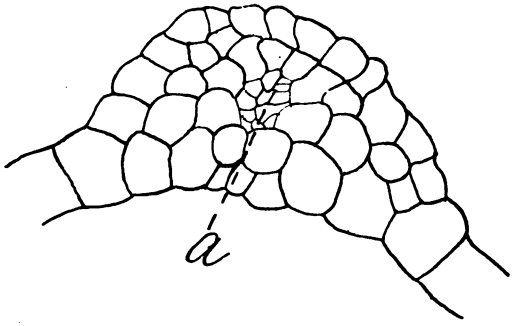


Fig. 13. *Tetraplodon angustatum*. Querschnitt durch eine Blattrippe. Deutlich ist hier eine Gruppe kleinerer dünnwandiger Zellen *a*.

verbreitert durch Teilung von Laminazellen, immer aber kann man hier eine Gruppe von dünnwandigen kleinen Zellen beobachten (Fig. 13).

Digitized by Google

Die Gattung *Splachnobryum*, die sonst so viele Übereinstimmung mit *Oedipodium* hat, weicht im Blattbau sehr ab. Hier sind die verschiedenen Zellgruppen sehr differenziert, besonders auffallend ist das stark verdickte innere Gewebe (Fig. 14). Auch findet man hier immer eine Gruppe kleiner dünnwandiger Zellen. Besonders abweichend nicht nur von *Oedipodium* sondern auch von sämmtlichen anderen *Splachnaceen* ist *Spl. aquaticum*, wo sich eine Schicht grosser dünnwandiger Zellen mitten durch das stark verdickte Gewebe zieht.

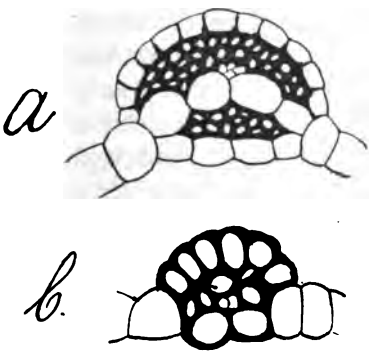


Fig. 14. a. *Splachnobryum aquaticum.*
b. „ *erosulum.*

Die Schleimhaare der Laubmoose sind zuerst von Goebel[1]) für *Diphyscium* erwähnt. Hier hat jedes Haar mehrere Schleimzellen und die Entleerung findet durch eigentümliche Sprengung der äusseren Membranschicht statt. Die dabei entstehenden Kappen hat schon Schimper[2]) abgebildet.

Später wurden von Goebel[3]) auch Schleimhaare für *Funaria* beschrieben, auch hier findet eigentümliche Sprengung der Wand statt. Correns[4]) sagt, dass die Schleimbildung nur bei wenigen Arten bekannt ist. Er hat sie beschrieben für *Georgia pellucida*, *Meesea triquetra* und an rudimentär bleibenden Knospen einer *Dicranacee* (wahr-

1) Goebel. Morphol. und biol. Studien in Ann. du Jard. de Buitenzorg. VII, p. 69.

2) id. Über Jugendformen der Pflanzen. Sitzber. math. phys. Kl. K. B. Akad. XXVI, p. 464.

3) Rech. morphol. et anat. sur les mousses. Tab. VI, fig. 43—46.

4) Vermehrung der Laubmoose, p. 358.

Digitized by Google

scheinlich *Dicranodontium*) und bei *Catharinea*. Sie erfolgt nach ihm in den Membranen der farbloswandigen Zellen des oberen Abschnittes, der Schleimzellen, zwischen einer äusseren Schicht und einer inneren. Die Stielzellen sind nie an der Schleimbildung beteiligt.

Bei *Oedipodium* kommen ganz deutliche schleimbildende Haare vor (Fig. 15*a*) besonders an den jungen Pflanzen, wo sie in grosser Zahl um den Vegetationspunkt stehen und zwischen den Brutkörpern, auch aber weniger zwischen den Geschlechtsorganen. Auch hier bestehen sie aus zwei Stielzellen mit dunkelgefärbten Wänden und entweder einer grossen keulenförmigen oder mehreren (bis vier) langgestreckten Schleimzellen. In vielen Fällen habe ich auch hier Schleimbildung beobachten können. Die äussere Membranschicht wird hierbei auf genau dieselbe Weise gesprengt wie bei *Georgia*.

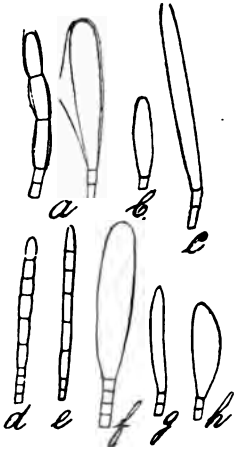


Fig. 15. *a.* **Schleimhaare von** *Oedipodium*; *b.* **von** *Tayloria Dubyi*; *c.* **Keulenhaare von** *T. tenuis*; *d.* **Haare von** *T. splachnoides*; *e.* **von** *T. patagonica*; *f.* **Keulenhaare von** *T. Cochabambar*; *g.* **von** *Dissodon subglaber*; *h.* **von** *D. indicus*.

Man kann auch bei verschiedenen anderen *Splachnaceen* besonders bei *Tayloria Dubyi* und bei *Splachnobryum*-Arten solche Schleimhaare sehen (Fig. 15*b*). Nur haben sie in diesen Fällen immer nur eine grosse keulenförmige Schleimzelle und kommen nur an den allerjüngsten Teilen vor. Wenn man sieht, wie diese Schleimhaare sich in den jüngsten Stadiën über dem Vegetationspunkt biegen und besonders, wenn man junge Stammknospen von *Georgia* in Betracht zieht, wo die ganze junge Stammanlage so zu sagen in Schleimhaaren gehüllt ist, wo aus den ersten Segmenten überhaupt noch keine Blätter, sondern nur Schleim-

Digitized by Google

haare gebildet werden, so kann man doch nicht anders als Goebel beifallen, wenn er sagt, dass diese Schleimbildung hauptsächlich zum Schutz des Vegetationspunkts dient. Neben diesen deutlichen Schleimhaaren kommen bei *Oedipodium* auch noch lange Haare aus mehreren kürzeren Zellen bestehend vor, bei welchen aber keine Schleimabscheidung konstatiert ist. Von diesen aus, ist der Uebergang zu den Paraphysen nicht gross mehr. Die Paraphysen bestehen aus mehr Zellen als die Haare (8—10). Die unteren Zellen sind immer langgestreckt, mehr nach oben bleiben sie es auch (die Paraphysen der weiblichen Blüte) oder die Zellen werden kürzer, breiter und dickwandiger (die der männlichen Blüten). Oft kommt es dann vor, dass sie sehr wenig von diesen kürzeren Zellen besitzen. Man hat also hier alle möglichen Übergänge und hierin liegt ein Beweis für die Richtigkeit der Auffassung Goebels, [1]) dass die Schleimhaare mit den anderen Haaren und mit den Paraphysen homolog sind. Übrigens hat Goebel [2]) bei *Dawsonia superba* in neuester Zeit einen schlagenden Beweis dieser Homologie gegeben. Hier befinden sich deutlich schleimabsonderende Haare (aus mehreren Zellen) nicht nur in den Blattachseln sondern auch auf der Basis der Blattfläche, was auch, wie wir später sehen werden, bei *Oedipodium* und *Georgia* gelegentlich vorkommt. Weiter sind die Paraphysen, die sonst bei *Potytrichaceen* Flächen bilden, hier entweder einfache Zellreihen oder sie zeigen einige Längsteilungen in ihren Zellen, sie nehmen also eine Mittelstellung zwischen denen von *Polytrichum* und von anderen Moosen ein. Nebenbei muss ich erwähnen, dass, wie bei der Behandlung der Blüten besprochen werden wird, die Paraphysen von *Oedipodium* gelegentlich

---

1) Goebel. Organographie p. 359.

2) Archegoniaten Studiën X. Beitr. zur Kenntn. austr. u. neuseel. Bryophyten. Flora 1906 p. 19.

Digitized by Google

die gleiche Eigenschaft zeigen wie bei *Dawsonia*. Am meisten interessant ist aber, dass auch an den Paraphysen der weiblichen Blüte von Dawsonia deutlich Schleimabsonderung zu bemerken ist. Die Paraphysen sind also ohne Zweifel mit den Schleimhaaren homolog.

Bei allen anderen *Splachnaceen* kommen nun in den Blattachseln sogenannte **Keulenhaare** vor. Mehrere Beispiele sind auf Fig. 15 (c—h) gegeben. Im Allgemeinen bestehen sie aus meistens zwei (ausnahmsweise 4) Stielzellen und einer grossen oder mehreren kleineren und dann länglichen Zellen. Solche Keulenhaare sind bei den Laubmoosen auch sonst ungemein verbreitet. Correns sagt, dass er sie bei allen Moosen, die er entwicklungsgeschichtlich untersucht hat, angetroffen hat. Wenn man denn auch in den systematischen Werken nachschlägt, wie z. B. in Limpricht, Roth oder der Bryologia europaea, findet man sie bei sehr vielen Moosarten erwähnt und abgebildet. Obgleich es nun nicht gelungen ist bei anderen als den obengenannten Schleimbildung nachzuweisen, bin ich doch durch die Tatsachen, dass sie schon zwischen den ganz jungen Blattanlagen gefunden werden und sich immer über dem Vegetationspunkt hinbiegen, wie dies auch die wirklichen Schleimhaare tun, überzeugt, dass diese sogenannten Keulenhaare keine andere Bedeutung, wenigstens ursprünglich, hatten als die Schleimhaare. Später können sie dann natürlich, wie auch Goebel vermutet, z. B. auch an der Wasseraufnahme sich beteiligen. Hierfür spricht sicher, dass sie bei *Tayloria* und *Dissodon*-Arten so massenhaft vorkommen. Man kann kein Blatt bei sämmtlichen Arten, mit Ausnahme von *Tayloria Dubyi*, untersuchen ohne dass man in der Achsel eine Reihe dieser Keulenhaare findet.

Das Stämmchen von *Oedipodium* hat eine wenig differenzierte Epidermis aus tangential gestellten, langgezogenen, unregelmässigen, mit relativ dünnen Aussenwänden versehenen Zellen. Sehr viele von diesen sehr inhalts-

Digitized by Google

armen Epidermiszellen sind zu langen Rhizoiden ausgewachsen, die zusammen mit den aus den Blatträndern und der Rippe entstehenden, das ganze Stämmchen wie in einen Mantel einhüllen.

Wenn man einen Querschnitt durch das junge Stämmchen macht (Fig. 16) findet man ein völlig homogenes Gewebe. Epidermis, Rindenparenchym und inneres Gewebe gehen ohne Unterschiede in einander über, vom Zentralcylinder ist nicht eine Spur zu finden. Nur sieht man, dass die Zellen nach innen zu allmählich kleiner werden. Anders wird das Bild, wenn man ganz alte Stämmchen schneidet (Fig. 17). Man kann dann deutlich einen Zentralstrang aus kleineren, mit unregelmässigen Wänden versehenen Zellen sehen. Eine deutliche Epidermis findet man aber auch dann noch nicht, die äussere Schicht und die darauf folgenden fünf bis sechs Schichten parenchymatischer Zellen sind einander völlig gleich. Nur kann man die Epidermis dadurch erkennen, dass die Zellen sehr inhaltsarm sind, während besonders die

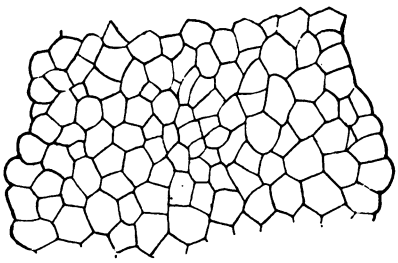


Fig. 16. Querschnitt durch ein junges Stämmchen von *Oedipodium*. Das Gewebe ist ohne Differenzierung, der Zentralstrang noch nicht sichtbar.

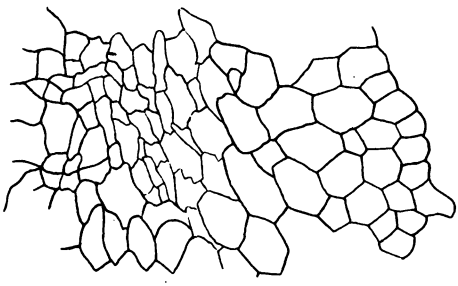


Fig. 17. Querschnitt durch ein älteres, Sporogon- tragendes Stämmchen. Der Zentralstrang als eine Gruppe kleinerer Zellen mit unregelmässigen, dünnen Wänden. Eine deutliche Epidermis fehlt auch hier.

Digitized by Google

äusseren Schichten des Rindenparenchyms ziemlich reich an Chlorophyll sind. Auf Längsschnitten kann man den Zentralcylinder am Besten unterscheiden an Verzweigungsstellen, wo man ganz deutlich sieht, wie die Zentralstränge der beiden Sprosse mit einander in directer Verbindung sind. Die Zellen tun sich dann vor als langgestreckte, dünnwandige, schmale Zellen mit meist schiefen Querwänden und im Allgemeinen wenig Inhalt. Etwas Inhalt, besonders Oeltropfen kann man jedoch immer finden. Dass in den Zentralsträngen Inhalt vorkommt, ist nach Haberlandt [1]) Ausnahme, er erwähnt es nur bei *Mnium hornum.* Oltmanns fand Oel in den Zentralsträngen von *Mnium* und *Polytrichum.* Ich habe es gefunden bei *Dissodon*-Arten.

In den kräftigsten Pflanzen besonders den Geschlechtsorgane tragenden findet man den Zentralstrang am Besten. Im oberen Teil der Stämmchen kann man, wenn diese Sporogone tragen, sehen, wie der Umfang des Zentralstrangs zunimmt.

Dass der Unterschied zwischen den älteren und jüngeren Pflanzen so gross ist, kann man ganz gut erklären. Die jungen sind ganz in den ablaufenden Blattbasen, den Rhizoiden am Rande und an der Rippe der Blätter und aus der Epidermis eingehüllt. Eine bessere äussere Leitung kann man sich doch kaum denken. Bei den älteren Pflanzen dagegen ist ein grosser Teil der Stämmchen weniger beblättert und stehen im oberen Teil die vielen sehr grossen Schopfblätter dicht gedrängt zusammen. Hier ist also eine viel weniger gute äussere Leitung und deshalb auch ein besserer Zentralstrang entwickelt.

Von sämmtlichen anderen *Splachnaceen* stimmt nur *Tayloria tenuis* mit *Oedipodium* überein. Auch hier findet man in den jungen Stämmchen keinen Zentralstrang; bei

---

1) Haberlandt. Beiträge zur Physiologie und Anatomie der Laubmoose. Pringsheim's Jahrb. 1886.

Digitized by Google

den sonst viel mit *Oedipodium* gemein habenden *Tayloria Dubyi* und *Splachnobryum aquaticum* findet man einen deutlichen Zentralstrang. Das Verhalten von *Splachnobryum aquaticum* ist hier um so mehr interessant, weil es eine Wasserform ist und diese sollte nach Haberlandt keinen Zentralstrang haben. Die übrigen *Splachnobryum*-Arten die keine Wasserforme sind, haben dagegen keine Zentralstränge. Dass die Stämmchen so klein sind, ist wie wir bei *Angstroemia longipes* sehen, wo wir in 2—3 m.M. langen Stämmchen unter der 2—3- schichtigen Rinde einen mächtig entwickelten Zentralstrang finden, kein Grund für das Fehlen.

Der Blütenstand ist einhäusig, die fruchtbaren Blüten meist zwitterig, aber doch nicht wie Schimper [1]) und C. Müller [2]) sagen immer, es kommen auch rein weibliche und rein männliche Blüten vor. Die rein männlichen Blüten sind nur selten terminal, meistens seitenständig, die zwitterigen immer terminal, die rein weiblichen meistens, jedoch ab und zu kommt es vor, dass eine weibliche Blüte durch Sprossung und klein bleiben des Seitensprosses auf die Seite gedrängt wird. Nebenbei muss noch erwähnt werden, dass es sehr oft vorkommt, dass eine männliche Blüte so sehr in die Nähe einer terminalen weiblichen gerückt ist, dass sie nur noch durch ein Blatt des Hauptsprosses getrennt werden.

Die Antheridiën sind gross, länglich und kurzgestielt, sie stehen in den rein männlichen Blüten meistens zu 3—4 mit vielen grossen Paraphysen zusammen. Die Paraphysen sind meistens einzellreihig, ausnahmsweise kommt es vor, wie Schimper [1]) erwähnt und abbildet, dass sie nach oben aus einer doppelten Zellreihe bestehen, und also ähnliches Verhalten zeigen wie p. 89 für *Dawsonia* erwähnt wurde.

1) Schimper. Bryologia europaea.
2) Müller. Genera muscerum.

Digitized by Google

Die Hüllblätter sind nicht wesentlich von den gewöhnlichen unterschieden, nur sind sie oft etwas kleiner.

Können wir schon aus dem Verhalten von *Oedipodium* sehen, dass eine zwitterige Moosblüte aus mehreren Komponenten aufgebaut ist, so sehen wir, dass dies in der jedenfalls mit *Oedipodium* sehr nah verwandten Gattung *Splachnobryum* für die weiblichen Blüten der Fall ist. Bei *Splachnobryum erosulum* findet man die Archegoniën bis ziemlich weit von der Spitze entfernt in den Blattachseln vereinzelt ohne Paraphysen, bei *Splachnobryum Geheebi* aber kann man weiter noch sehen, dass sie sehr kurze aber dicke, sprossähnliche Stielchen haben und auch kann man hier beobachten, dass nicht aus der Blattachsel, sondern zwischen zwei Blattinsertionen am Stämmchen ein kurzer Seitenspross entsteht auf dessen Spitze sich dann ein Archegonium befindet. Man kann nun alle Übergänge zwischen diesem Zustande und einer normalen aus mehreren Archegoniën bestehenden Blüte finden. Oft kommt es vor, dass die Archegoniën schon durch Verkürzung des Hauptsprosses im oberen Teil der Stämmchen sich einander nähern, aber dass die am Hauptsprosse sich befindenden Blätter noch dazwischen stehen. Schliesslich können auch diese wegfallen und haben wir eine normale weibliche Blüte, die in diesem Falle also eigentlich aus mehreren zusammengekommenen Blüten, jede bestehend aus einem Seitenspross mit einem Archegonium, aufgebaut ist.

In Anschluss hieran möchte ich eine Bemerkung von Velenovsky [1]) besprechen. Er sagt: „Es geschieht selten, dass die Antheridiën einzeln zwischen den Blättern oder in den Blattachseln stehen. *Sphagnum* hat eigentlich keine männlichen Blüten, weil es hier nur die cylindrischen beblätterten, männlichen Zweige sind, welche zwischen den Blättern auseinander gestellte, langgestielte Antheri-

1) Velenovsky. Vergleichende Morphologie der Pflanzen I p. 138.

Digitized by Google

diën tragen. *Fissidens bryoides var. gymnandrus* hat in den Achseln der Stämmblätter einzelne Antheridiën mit einigen Paraphysen. Auch bei vielen Arten der Gattung *Webera* (z. B. *W. polymorpha*) sitzen die Antheridiën mit den Paraphysen in den Achseln der Hüllblätter unter der weiblichen Gipfelblüte. Daraus sehen wir also, dass die Antheridiën nicht immer am Ende der verkürzten oder verlängerten Zweigen stehen müssen, sondern, dass sie an verschiedenen Stellen der Stämme und der Zweige entstehen können, dass sie also eine Eigenschaft haben, die wir allgemein bei Lebermoosen beobachtet haben. Aus diesem Umstande sowie daraus, dass auch in der weiblichen Blüte manchmal Antheridiën beigemengt sein können, geht hervor, dass die Ansicht, alsob die männliche Blüte der Gattung *Polytrichum* eigentlich ein Komplex einiger Blüten sei, unrichtig ist." Weiter, Pag. 141, werden dann noch die Durchwachsungen bei den *Polytrichaceen* als Beweis gegen die erwähnte Auffassung angeführt.

Die Beweisführung ist hier aber nicht ganz klar und auch sind seine Beispiele nicht in Übereinstimmung mit den in der betreffenden Litteratur angeführten Tatsachen.

Erstens muss ich hier die Bemerkung Goebel's [1]) wiederholen, dass es sehr gefährlich ist zwei heterogene Gruppen wie die *Bryineae* und *Sphagnaceae* mit einander zu vergleichen. Übrigens hat aber schon Leitgeb [2]) das Verhalten bei *Sphagnum* studiert. Die Antheridiën sind hier scheinbar nicht terminal, sondern der Sprossachse entlang einzeln am anodischen Rand einer Blattinsertion inseriert. Er hat nun nachgewiesen, dass die Mutterzelle der Seitenäste und die der Antheridiën was ihre Entstehung aus den Segmenten betrifft, vollkommen

1) Goebel. Organographie p. 369.

2) Leitgeb. Wachstum und Entwickelung der Antheridien bei *Sphagnum*. Sitz. ber. Akad. der Wiss. Wien. Mathem. naturw. Classe Bd. LVIII (I) 1868 p. 525.

Digitized by Google

gleichwertig sind. Diese Mutterzelle geht dann, statt zu einem Seitensprosse auszuwachsen, schon im einzelligen Zustand zur Antheridiënbildung über. Es scheint auch nach Leitgeb's Angaben, dass Zellen, die ursprünglich zur Antheridiënbildung bestimmt waren, in Ausnahmefällen sich zu Zweigknospen entwickeln können. Goebel bemerkt noch hierzu, dass die Sachlage bei *Sphagnum* eigentlich nur ein extremer Fall ist von der viel vorkommenden näml., dass die männlichen Aeste oft, wie bei *Fontinalis* (und vielen Pleurocarpen), sehr reduciert sind.

Was *Fissidens bryoides var. gymnandrus* betrifft, so ist die Mitteilung von Velenovsky sehr unvollkommen, auch bei Limpricht, [1]) der sagt Antheridiën zu 1—3 nackt, d. h. ohne Hüllblätter, in den Achseln der Laubblätter, von vereinzelten Paraphysen begleitet, und bei Roth [2]) Migula [3]) u. a. ist der Sachverhalt nicht richtig angegeben. Ruthe [4]), der die Varietät beschrieben hat, sagt, dass er mehrfach Formen mit nackten Antheridiën in den Blattachseln gefunden hat, aber auch, und gewöhnlich waren diese die kräftigsten Pflänzchen, mit Antheridiën von Perichaetialblättern umgeben und schliesslich auch solche, wo an derselben Pflanze zugleich nackte und von Perichätiën umgebene Antheridiën vorkamen. Erstere befanden sich dann in den oberen, letztere in den unteren Blattachseln. Weiter sagt er noch, dass die nackten Antheridiën nicht genau in den Blattachseln sondern etwas höher hinauf am Stengel stehen. An der Spitze des Stengels befindet sich nun die weibliche Blüte und zuweilen in der

---

1) Laubmoose in Rabenh. Kryptogamenflora I p. 430.

2) Die europaeischen Laubmoose.

3) Laubmoose in Thome's Flora v. Deutschland p. 79.

4) Zwei neue europäische Arten der Laubmoosgattung *Fissidens* und über *Fissidens bryoides β gymnandrus*. Hedwigia 1870 p. 177.

Digitized by Google

zweiten Blattachsel, statt der meistens dort stehenden weiblichen Blüte, die nackten Antheridiën. Fehlt nun zwischen den männlichen und weiblichen Blütenteilen das immer unvollkommene zweite Blättchen, so erscheint die weibliche mit den daran stehenden nächsten Antheridiën genau wie eine bisexuale.

In diesen Tatsachen kann ich nun unmöglich ein Beweis sehen gegen die Acrandrie bei den Laubmoosen. Wir haben hier alle Übergänge zwischen einem von Perichaetialblättern umgebenen Blütenstand, also einem sicheren Seitenspross und nackten Antheridiën, in welchen ich auch einen Spross sehe, der aber noch viel mehr reduciert ist. Die Tatsachen bei dieser Pflanze beweisen also nur, dass ein Antheridiënstand auf einen Seitenspross zurückzuführen ist. Solange aber die Entwickelungsgeschichte nicht untersucht ist, können sie nie als Beweis gegen die Acrandrie angeführt werden. Auch in dem Angeführten aus der Gattung *Webera* wird ein solcher Beweis nicht geliefert.

Zugleicherzeit aber sind die hier angeführten Tatsachen, wie auch die bei *Oedipodium*, ein Beweis gegen den zweiten Teil der Bemerkung von Velenovsky. Wir sehen hier sehr deutlich, wie aus im Anfang getrennten Blüten durch Reduktion der dazwischen liegenden Teile eine zwitterige hervorgeht. Das Zusammenstehen von Antheridiën und Archegoniën in einer Blüte ist also aufzufassen als ein Komplex von, der Anlage nach, getrennten Blüten und ist gerade ein Beweis für die Auffassung der *Polytrichum*-Blüte als ein Komplex, denn wie hier die beiden zusammenkommenden Blüten verschieden sind, kann man sich doch auch ganz gut vorstellen, dass auch mehrere männliche Blüten zusammenrücken und durch Reduktion der Sprosse sich schliesslich ganz vereinigen.

Übrigens braucht man es in dieser Frage nicht bei einer Vorstellung zu lassen, liegen uns doch über die

Digitized by Google

Polytrichum-Blüte recente Untersuchungen von Vauppel[1]) vor. Die Antheridiëngruppen stehen in 2—3 über einander stehenden Reihen unterhalb je eines Blattes, untermischt mit den Paraphysen. Hofmeister und mit ihm Leitgeb[2]) nehmen nun an, dass jede Antheridiëngruppe einen kaum irgend in die Länge entwickelten Seitenzweig darstellt, dessen Scheitel sich zum ersten Antheridium entwickelt. Goebel[3]) bemerkt hierzu, dass er die Berechtigung dieser Auffassung vollkommen einsieht, aber dass die entwicklungsgeschichtliche Begründung fehlt. Vauppel hat nun auch die Entwicklung untersucht. Er kam dabei zu dem folgenden Schluss. Die Blüte bei *Polytrichum* ist eine zusammengesetzte, in den Antheridiën-bildenden Segmenten des Hauptsprosses entwickelt sich eine Zweigscheitelzelle, diese wird aber nicht, wie bei den gleichfalls von Vauppel untersuchten auch zusammengesetzten Blüten von *Mnium*, zur Bildung der ersten Antheridiën der einzelnen Gruppen verwandt, sondern bleibt bis zur Anlage der letzten Antheridiën erhalten. Die Scheitelzelle des Hauptsprosses bleibt erhalten und kann nun in der nächsten Vegetationsperiode auswachsen, so dass die von Velenovsky als Gegenbeweis angeführten Durchwachsungen nicht gegen die Theorie der zusammengesetzten Blüte angeführt werden können.

Man kann also in den von Velenovsky erwähnten Beispielen diese Reihenfolge finden. Bei *Fissidens bryoides var. gymnandrus* werden an den Seitenprossen entweder noch einige Blätter gebildet oder auch diese fallen weg, bei *Polytrichum* ist der männliche Spross jedenfalls im

---

1) Vauppel. Beiträge zur Kenntniss einiger Bryophyten. Flora Bd. 92. 1903 p. 346.

2) Leitgeb. Die Antheridiënstände der Laubmoose. Flora 1882.

3) Goebel. Organographie p. 370.

Digitized by Google

mittleren Teil der Blüte konstant auf die Antheridiengruppe, bei *Sphagnum* auf ein Antheridium reduciert. Nun kann man auch für zwitterige Blüten eine ähnliche Reihe aufstellen. Wenn ein männlicher Blütenstand in die Nähe des weiblichen kommt, werden sie im Anfang noch durch ein Blatt getrennt sein. Schliesslich kann jedoch dieses Blatt, die letzte Spur der Verzweigung, wegfallen und wir haben die fertige zwitterige Blüte.

Man kann also die zwitterigen Blüten und männliche, wie sie bei *Polytrichum* und *Mnium* vorkommen, auffassen als Komplexe von mehreren verkürzten Seitenprossen.

Was **das Sporogon** von *Oedipodium* anbelangt, so muss ich hier direct bemerken, dass von einem eigentlichen Vergleich zwischen dieser Art und anderen *Splachnaceen* nicht die Rede sein kann. Besonders *Splachnobryum* weicht durch seine *Pottiaceen*-Frucht total ab, aber auch von sämtlichen anderen ist *Oedipodium* durch das Fehlen des Peristoms und durch den ausserordentlich langen Hals verschieden.

Wenn die Sporogone noch jung sind erinnern nach C. Müller[1]) die jungen fleischigen Fruchtstiele an die hornförmigen Früchte von *Anthoceros*. Die reifen Sporogone (Juli oder August) tun sich vor als orangefarbige, kugelrunde Kapseln. Die Kapseln sind aufrecht, der Deckel hoch gewölbt oder stumpf kegelförmig, entdeckelt besteht der Rand aus mehreren Reihen von orangeroten, bei älteren Kapseln dunkelbraunen, sehr schmalen und etwas in die Länge gezogenen, fast hyalinen Zellen. Diese ganz schmalen Zellen werden nach unten zu etwas breiter, bis sie in die rundlich sechseckigen Zellen des oberen Halsteiles übergehen, auch hier sind wohl die Wände noch auffallend dick, aber sie machen dann schon mehr einen fleischigen, weichen Eindruck. Ein Peristom fehlt bei *Oedipodium* vollkommen, ebenso ein Ring. Die Haube ist kegelförmig zylindrisch,

1) Genera muscorum p. 126.

Digitized by Google

und bis zur kegelförmigen Spitze einseitig gespalten und auch am Grunde mehrfach zerrissen. Sie bedeckt nur den Deckel und einen kleinen Teil der Kapsel, fällt leicht ab und besteht an der Basis aus hyalinen, nach oben aus bräunlichen Zellen.

Die Columella ist nach oben durch ein dünnwandiges Gewebe mit dem Deckel verbunden. An den entdeckelten Kapseln sieht man dieses Gewebe zerrissen an der wie mit einem Kragen versehenen Columella, diese selbst fällt zusammen zu einem Strang, an welchem man keine Zellenstruktur mehr bemerken kann.

Der Fuss dringt ziemlich tief in das Gewebe des Stämmchens ein und ist langgestreckt mit ziemlich breit abgerundetem Ende. Nach Nyman soll er eine hakenförmige Spitze besitzen. Nach meinen Beobachtungen werden die Zellen des Fusses nach unten zu länger. Die Epidermiszellen, welche im oberen Teil stark verdickt sind, werden dünnwandiger und gleichfalls langgestreckter. Die Zellen des Zentralstrangs der Stämmchen sind auf diese Weise in fast directem Zusammenhang mit denen des Fusses. Man sieht dann auch deutlich, wie der Zentralstrang sich in den Fuss und weiter in die Seta fortsetzt.

Was Nyman als Seta bezeichnet, ist dies nicht. Er nimmt fast den ganzen Hals nur mit Ausnahme von dem verbreiterten oberen Teil, den er Hypophyse nennt, dazu. In Wirklichkeit ist aber die Seta sehr klein und ist der Hals fast dreimal so lang. Was Nyman denn auch als Querschnitt durch die Seta abbildet, ist ein Schnitt durch den unteren Halsteil. Die Seta besteht auf dem Querschnitt (fig. 18) der Hauptsache nach aus einem parenchymatischen Gewebe, nach aussen zu werden die Wände allmählich verdickt bis an die aus ziemlich grossen langgestreckten Zellen mit stark verdickten, fleischigen Wänden bestehende Aussenschicht. In der Mitte kann man einen Zentralstrang aus kleinen Zellen mit unregelmässigen Umrissen

Digitized by Google

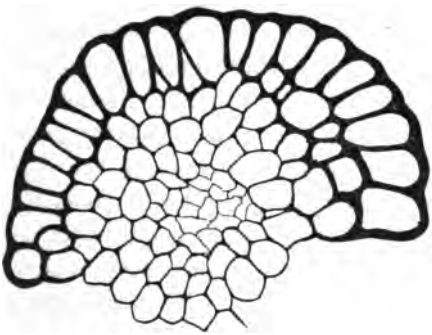


Fig. 18. Querschnitt durch die Seta von *Oedipodium*. Die Aussenschicht stark verdickt und aus grossen Zellen bestehend. Die Verdickung nach innen zu allmählig abnehmend. In der Mitte eine Gruppe aus kleinen dünnwandigen Zellen bestehend.

bemerken. Dieser setzt sich direct in den Zentralstrang des Halses fort, auch die Epidermis des Halses ist die directe Fortsetzung der Setaepidermis. Übrigens ist der Übergang von dem Gewebe der Seta in das schwammige des Halses ein sehr plötzlicher, wie auch deutlich auf der Abbildung in den Natürlichen Pflanzenfamilien zu sehen ist. Die Epidermiszellen des Halses werden im oberen, verbreiterten Teil kürzer und breiter und gehen so wie gesagt allmählich in die der eigentlichen Kapsel über. Der Zentralstrang setzt sich nach oben in den der Columella fort. Das Schwammgewebe besteht aus einigen Reihen grosser Zellen, die im schmalen Halsteil in wellig gebogenen oft zusammenstoszenden Liniën nach unten laufen. Im oberen Teil verlaufen sie mehr schräg. Die Interzellulare sind sehr gross. Während die Epidermiszellen fast inhaltslos sind, führen die Schwammzellen ziemlich viele und verhältnissmässig grosse Chlorophyllkörner. Bei den jungen Sporogonen füllt dieses Gewebe den ganzen Hals bis oben aus, bei den alten ist der Hals teilweise hohl.

Auf dem Halse und besonders auf dem von Nyman Hypophyse genannten Teil findet man grosse Spaltöffnungen. Im mittleren und unteren Teil fehlen sie fast oder ganz, wohl kommt es dann vor, dass man die von Nyman beschriebenen rudimentären Spaltöffnungen findet. Die Stomata liegen in einer Fläche mit der Epidermis und sind

Digitized by Google

länglich oval. Besonderen Bau zeigen sie nicht. Sie stehen mit den Interzellularräumen des Halses in directer Verbindung. Die Nebenzellen sind wenig von den übrigen Epidermiszellen unterschieden. Sämtliche von mir untersuchte *Splachnaceen* mit Ausnahme natürlich von *Splachnobryum*, zeigen denselben Bau der Stomata. Nur sind sie bei einigen Arten etwas grösser oder kleiner, oder in grösserer Zahl vorhanden. Bei den *Dissodon*-Arten ist das Schwammgewebe meistens sehr gut entwickelt. Hier sind dann auch die Spaltöffnungen zahlreich und gross. Besonders gross sind sie bei *D. subglaber*. Bei verschiedenen *Tayloria*-Arten ist das Schwammgewebe sehr schlecht entwickelt. Bei *T. Moritziana* und *T. Cochabambar* findet man einen sehr kurzen Hals, in diesem ist ein eigentliches Schwammgewebe nicht entwickelt. Man findet einige im oberen Teil etwas schief, im unteren Teil gerade verlaufende Reihen von ziemlich grossen, rundlich ovalen Zellen, die fast ohne Interzellulare aneinanderschliessen. Die Spaltöffnungen sind dann auch wenig zahlreich und klein. Besser ist das Schwammgewebe schon bei *T. Splachnoides* und *Rudolfiana*. Bei *tenuis* und *serrata* nähert es sich schon mehr dem Typus eines Schwammparenchyms. Hier findet man schon ziemlich grosse und viele Interzellulare. Die Höhe seiner Entwicklung hat das Schwammgewebe jedoch bei *T. Dubyi*. Diese Art hat einen langen, sehr bleichen Hals, der mit Ausnahme des Zentralstrangs ganz mit einem Gewebe aus langgestreckten, grossen, rundlichen Zellen wie bei *Oedipodium* gefüllt ist. Es ist direct auffallend, dass bei dieser Art Hals und Schwammgewebe so stark entwickelt sind, um so mehr weil doch auch in mehreren anderen Punkten schon Übereinstimmung zwischen *Oedipodium* und *T. Dubyi* gefunden worden ist. Durch das deutlich entwickelte Peristom der zuletztgenannten sind die beiden Arten doch wieder sehr verschieden. Spaltöffnungen kommen bei *T. Dubyi* nicht so viel vor wie bei *Oedipodium*. Auch

Digitized by Google

hier, wie bei vielen anderen *Tayloria*-Arten, findet man rudimentäre Spaltöffnungen.

DIE BRUTKÖRPER VON OEDIPODIUM.

Diese Brutkörper wurden zuerst abgebildet von Valentine[1]). Er nannte sie: One of the gemmiform bodies, which are found in the axillae of the leaves. Später wurden sie von Berggren[2]) beschrieben, der auch die Entwicklung und Keimung untersuchte, dann von Nyman[3]) und schliesslich von Correns[4]) der aber nur über Herbariummaterial verfügen konnte und so, wie er selbst wiederholt bemerkt, verschiedene Fragen nicht lösen konnte.

Nach Correns stehen sie wie bei *Georgia* in Körbchen. Auch nicht ganz richtig ist die Angabe bei Nyman, dass die Brutkörper in den Achseln der Blätter einer Rosette an der Spitze der Pflänzchen stehen und, dass nie Becherbildung vorkommen würde. Nach meinen Beobachtungen ist der gewöhnliche Fall, den man besonders gut an den jungen Pflänzchen beobachten kann, dass die Blätter ganz gewöhnlich auswachsen und, dass dann in den Achseln die Brutkörper stehen. An ganz alten Pflanzen wird dann wirklich eine Rosette gebildet von meist sehr grossen Blättern in deren Achseln dann die Brutkörper stehen. Nun kommt es aber auch sehr oft vor, dass die Blatter allmählich ganz oder fast rudimentär werden und dass der obere Teil des Stämmchens sich stark verflacht und so entsteht dann eine Becherform. Nyman

---

1) Valentine. Supplementary Observations on the Development of the theca. Transact. Linn. Soc. London. XVIII, 1841.

2) Berggren. Om proembryos utveckling och bygnad hos slägtena Diphyscium och Oedipodium. Botaniska Notiser 1873.

3) Nyman. Om Bygnaden och utvecklingen af Oedip. Griff. Upsala 1896.

4) Correns. Vermehrung der Laubmoose. p. 140 ff.

Digitized by Google

giebt an, dass er die Brutkörper immer ohne Geschlechtsorgane gefunden hat, Berggren fand sie mit Antheridiën zusammen, [1]) Correns auch met Antheridiën und einmal mit Archegoniën.

Ich habe sämmtliche Fälle, welche hier genannt sind, auch finden können. An den jungen Pflänzchen findet man die Brutkörper ohne Geschlechtsorgane. Die jungen Pflänzchen bilden die Brutkörper schon sehr früh, mehrmals habe ich beobachten können, dass, indem erst einige Blätter gebildet waren, diese in den Achseln schon reife Brutkörper hatten. Erst später werden die Geschlechtsorgane tragenden Sprosse gebildet und zwar an der Basis der Brutkörpertragenden. Dann aber kann man die Brutkorper sowohl mit Antheridiën als mit Archegoniën oder in zwitterigen Blüten finden. In meinem Material, das doch von verschiedenen Standorten stammte und in verschiedener Zeit gesammelt worden war, konnte ich fast keine männliche Blüte finden ohne Brutkörper. Dazu kann ich noch bemerken, dass bei den rein männlichen oder rein weiblichen Blüten die Brutkörper immer am Rande der Blüten in den Achseln der Hüllblätter stehen. Bei den zwitterigen dagegen findet man sie zwischen den verschiedenen anderen Organen zerstreut, immer aber mehrere in einer Gruppe zusammen.

Ob nun die Brutkörper für sich allein in einem Becher oder in den Blattachseln stehen oder in den Blüten, immer findet man dazwischen die schon früher beschriebenen Schleimhaare, aber daneben noch andere nicht schleimbildende Haare, die genau so aussehen wie die Paraphysen der weiblichen Blüten. Weil es aber oft vorkommt, dass die Brutkörper auf sehr langen, schmalen, fast haarförmigen Stielen sitzen und sehr oft der später zum Brutkörper

---

1) nach Schimper: Synopsis Ed. II p. 355 kommen sie sowohl mit Antheridiën als mit Archegoniën gemischt vor.

Digitized by Google

werdende Zellfaden schon ziemlich lang ist, bevor in der Endzelle die Körperbildung anfängt, ist es nicht ausgeschlossen, dass auch diese Haare später noch zu Brutkörpern auswachsen können.

In vielen Fällen stehen die Brutkörper nicht nur in den Achseln der Blätter, sondern kann man deutlich beobachten, dass sie auch aus dem unteren, durch Verbreiterung der Rippe mehrschichtig gewordenen, Teil entstehen können. Besonders deutlich sieht man diesen Vorgang bei den später zu beschreiben Miniaturpflanzen. Neben den Brutkörpern findet man dann an den unteren Blatteilen auch deutlich Schleimhaare.

Die Brutkörper sind ziemlich flache, linsenförmige Zellkörper. Der Rand besteht immer aus einer Zellenschicht. Die ganze Form variiert von deutlich dreieckig bis fast rundlich. Die Zellen sind nach aussen alle etwas vorgewölbt, die Wände sind ziemlich dick, die Verdickungen sind aber über die ganze Wand gleichmässig verteilt. Auf der Cuticula kann man die gleichen feinen Körner sehen, welche man auch auf den Blättern bemerkt. An den reifen Brutkörpern kann man in normalen Fällen zwei Vegetationspunkte mit zweischneidiger Scheitelzelle beobachten. Meistens sind auch schon, bevor der Brutkörper von seinem Stiel abgelöst wird, einige Segmente gebildet so, dass die Scheitelzellen auf kleinen Vorsprüngen sich befinden. In einigen Fällen habe ich auch statt zwei, drei solcher Vegetationspunkte sehen können. (fig. 19). Wenn zwei da sind, liegen sie, wie auch Berggren und Correns beobachtet haben, ungefähr auf derselben Höhe

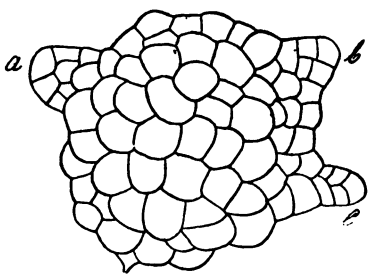


Fig. 19. Brutkörper von *Oedipodium* mit statt zwei, drei Scheitelzellen *a*, *b* und *c*.

Digitized by Google

in der oberen Hälfte des Brutkörpers. Wenn ein dritter da war, lag er immer im oberen Teil fast dem Stiel gegenüber. Die Stiele sind lang und fadenförmig. Die Zellen haben gerade Wände und sind langgestreckt. Immer kann man einige winzige Chlorophyllkörner in den Zellen finden. Die Membrane sind und bleiben auch nach Abfallen des Körpers farblos. Die Zellen des Brutkörpers haben viele grosse Chlorophyllkörner, besonders viele, aber kleinere, befinden sich in den Vegetationspunkten. Nach Correns lassen sich auch Stärke und Oel nachweisen.

Die Ablösung wird, wie Correns angiebt, durch ein Brachytmema ermöglicht. Wenn der Brutkörper afgefallen ist, endigen die Träger mit einem schmalen Kragen, der Rest des zerrissenen Brachytmema.

Die Entwicklung der Brutkörper ist von Correns genau beschrieben. An diese Beschreibung habe ich im Wesentlichen nichts zu zu fügen. Der Vollständigkeit wegen werde ich sie hier kurz wiederholen. Zunächst entsteht ein meistens ziemlich langer Zellfaden mit quergestellten Scheidenwänden, im Anfange sind die Zellen noch kurz, sie können sich im unteren Teil aber nachträglich strecken. Die Endzelle des Fadens schwillt nun auf und wird so zur Brutkörperanlage. (fig. 20.) Die Angabe von Correns, dass nun in der ersten Anlage schon Unterschied zwischen *Oedipodium* und *Georgia* auftritt, kann ich bestätigen. Die Anlage teilt sich erst der Länge nach und dann durch eine Quer-

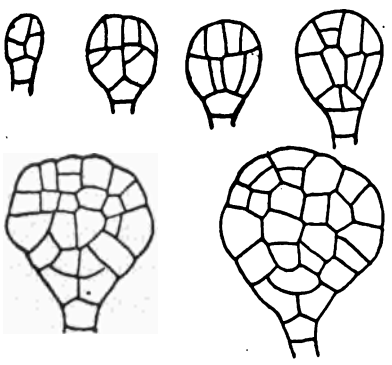


Fig. 20. Verschiedene Entwicklungsstadien der Brutkörper von *Oedipodium*.

Digitized by Google

wand so, dass vier Quadranten entstehen, während bei *Georgia* im Anfange fast immer eine deutliche zweischneidige Scheitelzelle auftritt. In den Quadranten finden nun auf gewöhnliche Weise die weiteren Teilungen statt.

Die beiden Vegetationspunkte werden erst später angelegt. In den meisten Fällen war der Brutkörper schon in den mittleren Teilen mehrschichtig und war die ursprüngliche Zellenanordnung schon verloren gegangen, bevor die Scheitelzellen sich entwickelten. Oft selbst waren die Körper der Grösse nach, schon vollkommen entwickelt, während die Zellen der äusseren Schicht einander noch vollkommen gleich waren. Wenn sie aber frühzeitig angelegt werden ist es, wie auch Correns angiebt, die Regel, dass sie in den zwei unteren Quadranten entstehen. Correns fand unter allen von ihm beobachteten Entwicklungsstadiën nur eines, wo der eine Vegetationspunkt in einem oberen Quadranten gebildet war. Da aber am reifen Brutkörper die Scheitelzellen immer über der halben Höhe liegen, muss das Wachstum in den beiden unteren Quadranten grösser sein als in den oberen.

Die unter der Endzelle gelegene Zelle teilt sich meistens noch einmal durch eine Querwand, die obere dieser beiden Zellen kann man als Hypophyse oder Stielzelle am Brutkörper finden, die untere wird entweder direct oder nachdem sie sich noch einmal quer geteilt hat, zur Trennungszelle.

Am reifen Brutkörper kann man keine Rhizoidinitialen finden. Auch durch Plasmolyse sind sie nicht zu unterscheiden. Erst, wenn die Keimung schon angefangen hat, kann man sie bemerken. Sie sind dann etwas vorgewölbt und sind vollgestopft mit kleinen Chloroplasten. Besonders durch diese letztere Eigenschaft sind sie deutlich zu erkennen. Meistens befinden sich diese Initialen in der Randschicht, nur verhältnissmassig wenig auf den breiten Flächen des Körpers. Sehr viele dieser Initialen bleiben in diesem

Digitized by Google

Stadium stehen. Besonders in der Nähe der Vegetationspunkte wachsen die meisten aus, aber auch kommt es, wie auch Berggren schon fand, mehrmals vor, dass sie besonders am unteren Teil des Brutkörpers auswachsen.

In normalen Fällen wachsen nun die beiden Scheitelzellen direct zu Protonemablättern aus. Wenn 3 anwesend sind, meistens nur zwei (fig. 21). Auch in den auf diese

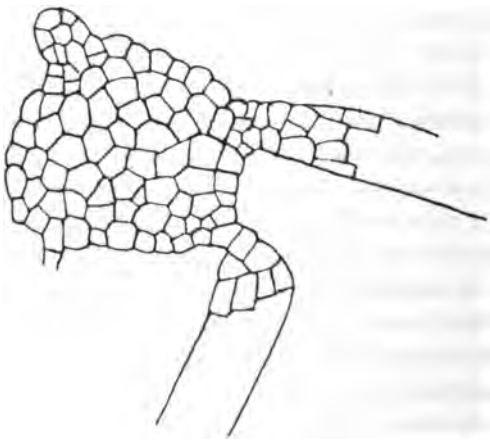


Fig. 21. Brutkörper mit drei Scheitelzellen, zwei dieser sind zu Protonemablättern ausgewachsen.

Weise gebildeten Protonemablättern wird die Scheitelzelle, meistens sehr bald, aufgeteilt. Die jungen Protonemablätter biegen sich bald aufwärts und wachsen dann senkrecht in die Höhe. Es kommt auch hier öfters vor, dass sich die Protonemablätter verzweigen oder durch Ausbuchtungen unregelmässig werden.

De Angabe von Nyman, dass die Brutkörper bei der Keimung erst einen Zellenfaden bilden, ist sicher nicht richtig. Bei normalen Keimungsverhältnissen habe ich es nie beobachten können.

Öfters kommt es aber vor, dass die Scheitelzelle, nachdem

Digitized by Google

einige Segmente sich entwickelt haben, ihr Wachstum einstellt und, dass dann entweder aus einer Zelle der so gebildeten Protonemablattanlage (fig. 22) oder neben

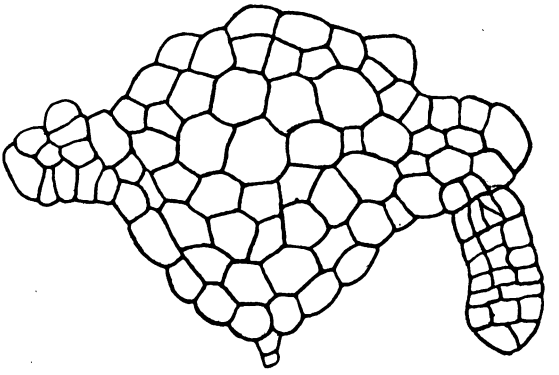


Fig. 22. Brutkörper von *Oedipodium*. Die ursprünglichen Scheitelzellen haben ihr Wachstum eingestellt. Aus Zellen der Protonemablattanlage entwickeln sich neue Protonemablätter.

dem Vegetationspunkt aus einer Zelle des Brutkörpers (fig. 23*a*) sich eine neue Anlage bildet, die dann normal weiter wächst. Wenn dann, wie es auch öfters vorkommt, die ursprüngliche Anlage auch weiter wächst, und mehrere Zellen des Brutkörpers, in der Nähe der ursprünglichen Anlage gelegen, zu Protonemablättern auswachsen, kann an der Stelle, wo in normalen Fällen das eine Protonemablatt sich befindet, ein ganzer Büschel von diesen Organen zusammengehäuft sein.

An diesen Protonemablättern wird nun meistens auf die früher beschriebene Weise die junge Knospe angelegt, es kommt aber sehr oft vor, dass das Protonemablatt sehr klein bleibt und, dass fast direct nach der Keimung die Knospenanlage sich entwickelt so, dass es fast aussieht, alsob die junge Stammknospe dem Brutkörper direct aufsitzt. (fig. 23*b*). Weil es nun auch vielmals vorkommt,

Digitized by Google

dass diese jungen Anlagen schon nach Bildung von zwei oder drei Blättern, wenn diese noch ganz klein sind, zur

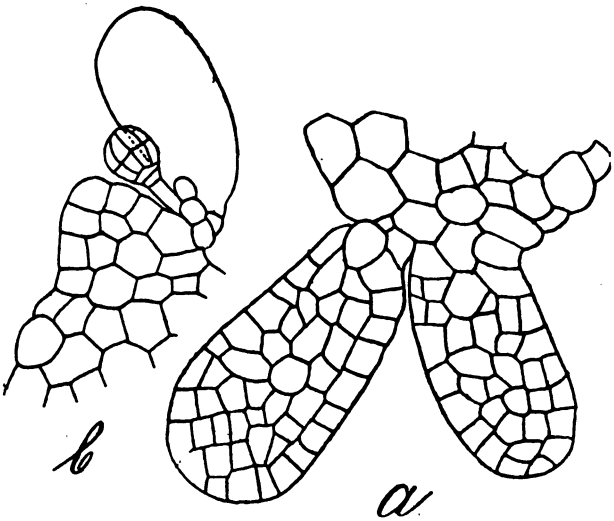


Fig. 23. *a.* **Ein Brutkörper wo neben der alten Scheitelzelle sich noch eine Zelle des Brutkörpers zum Protonemablatt entwickelt hat.**
b. **Eine junge Knospe, welche direct zur Bildung von Brutkörpern fortgeschritten ist.**

Brutkörperbildung schreiten, hat man also alle Übergänge zwischen normalen Pflanzen und dem schon von Correns erwähnten Fall, dass es aussieht, alsob die neuen Brutkörper fast direct aus dem alten Körper hervorkommen.

Dass die Brutkörper sehr reich an Reservestoffen sein müssen, geht daraus hervor, dass sie in destilliertem Wasser ausgezeichnet keimen, normale Protonemablätter bilden und in vielen Fällen es selbst zur Knospenbildung bringen.

Auch im Dunkeln können die Brutkörper noch sehr gut keimen, allerdings meist auf abnormale Weise. In den meisten Fällen wächst dann nur eine Scheitelzelle aus und zwar in der Regel nicht zu einem Protonemablatt,

Digitized by Google

sondern zu einem langen Faden mit schief gestellten Wänden. Die Protonemablätter, so weit sie gebildet wurden, waren sehr lang und schmal, führten aber noch ziemlich viel Chlorophyll.

Im Zusammenhang mit anderen Versuchen habe ich die Brutkörper auch in Nährlösungen von verschiedener Zusammensetzung ausgesät. Hierbei wurde gefunden, dass die Keimung am schnellsten erfolgte, wenn ich eine vollständige Nährlösung ohne Calcium benutzte. In vollständiger Nährlösung blieben die Brutkörper selbst hinter denen in destilliertem Wasser im Anfang bedeutend zurück.

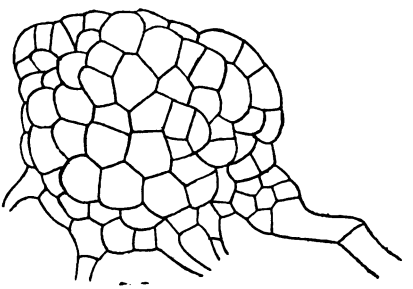


Fig. 24. Ein Brutkörper aus der Dunkel-Kultur. Hier ist die Scheitelzelle nicht zum Protonemablatt geworden, sondern hat sich als Rhizoid weiter entwickelt. Ausserdem haben mehrere der Brutkörperzellen Rhizoide gebildet.

In Lösungen ohne Stickstoff aber mit Calcium kamen die Brutkörper fast nicht über die ersten Keimungsstadiën hinaus, nahm ich aber eine Lösung ohne Stickstoff und ohne Calcium, so keimten sämtliche Brutkörper und bildeten sehr kleine Protonemablätter entweder aus der Scheitelzelle oder daneben. Allerdings entstanden an diesen immer nur Miniaturpflanzen. Diese brachten es in der Regel nicht weiter als zur Bildung einer Stammscheitelzelle mit einigen Segmenten. Aus dem ersten Segment wuchs dann ein Blatt hervor, dass meistens von den Protonemablättern kaum zu unterscheiden war. Aus den anderen Segmenten wuchsen meistens höchstens ganz rudimentäre Blätter oder Schleimhaare hervor. In der Achsel des einzigen Blattes nun entstanden schon sehr bald einige Brutkörper, die aber meistens abnormal gebildet waren. Jedenfalls

Digitized by Google

geht doch hieraus hervor, dass Calcium auf das Keimen dieser Brutkörper einen hemmenden Einfluss hat, auch vertragen Kulturen von *Oedipodium* genau so wenig wie die von *Georgia*, ein Begiessen mit dem stark Calciumhaltigen Münchener Leitungswasser. Versuche, die Brutkörper sowohl von *Oedipodium* wie von *Georgia* in diesem Wasser keimen zu lassen, fielen denn auch vollkommen negativ aus.

In seiner Uebersicht stellt Correns *Oedipodium* neben *Georgia* zu den Moosen deren Brutkörper auf Protonema zurück zu führen seien, aber er tut dies in beiden Fällen mit einer bestimmten Reserve, da er seine alte Auffassung die Brutkörper seien umgebildete Keulenhaare oder Paraphysen nicht verlässt.

Er betrachtet die Körbchen von *Georgia* und von *Oedipodium* als völlig homolog, und zwar als metamorphosierte Blüten, das von *Oedipodium* aber als eine Vorstufe des bei *Georgia* vorhandenen, indem sich bei *Oedipodium* noch sehr oft, wenn auch nicht immer (wie aus Nyman's und meinen eigenen Angaben hervorgeht) Geschlechtsorgane ausbilden, die bei *Georgia* mit einigen wenigen Ausnahmen ganz fehlen. Dem entspreche auch, dass bei *Oedipodium* die zu den Brutkörpern gehörenden Blätter noch nicht so regelmässig als, was Correns Hülle nennt, ausgebildet sind.

Bei der Besprechung von *Georgia* werde ich die Auffassung von Correns etwas ausführlicher behandeln. Hier sei nur erwähnt, dass er anführt, dass man im Grunde doch vielleicht, wenn auch indirect, die Keulenhaare und Paraphysen auf Protonema zurückführen kann. Dies kann man nun aber nach meiner Meinung ohne Zweifel tun. Selbst wenn die Paraphysen teilweise eine ganz andere Form annehmen, kann man wie bei *Oedipodium* deutlich ist, Übergänge finden. Wir finden bei *Oedipodium* alle Übergänge von den keulen-

Digitized by Google

förmigen aus kurzen, rundlichen, dickwandigen Zellen bestehenden Paraphysen der männlichen Blüten bis an die haarförmigen der weiblichen. Ich fasse sowohl die Keulenhaare wie Paraphysen und Schleimhaare auf als Protonemafäden von beschränktem Wachstum. Wenn man nun sieht, wie die Brutkörper bei *Oedipodium* sich aus Fäden entwickeln, die oft vor Bildung der Brutkörper so weit auswachsen können, dass sie den haarförmigen Paraphysen vollkommen ähnlich sind (und also auch was die Form anbelangt den Schleimhaaren mit mehreren Schleimzellen), weiter wie Schleimhaare und Brutkörper immer zusammen stehen, dann muss man doch zu dem Schlusse kommen, dass diese Brutkörper genau so wie die Paraphysen und Schleimhaare auf Protonemafäden zurückgeführt werden müssen.

Ich glaube aber nicht, dass man die Brutkörper mit Correns ausschliesslich vom stammbürtigen Protonema ableiten kann. Sie stehen immer in den Blattachseln oder vielmehr auf dem unteren Blatteil und gehen oft mit den Schleimhaaren ziemlich weit auf den unteren mehrschichtigen Teil hinauf. Ich führe also in diesen Fällen die Organe auf blattbürtiges Protonema zurück. Nun kommt es aber vor, dass die Brutkörper und Schleimhaare ohne Blätter zwischen den Geschlechtsorganen stehen. Wie ich aber früher schon gesagt habe, fasse ich die zwitterigen Blüten, denn um diese handelt es sich nur, weil bei den rein männlichen oder weiblichen Blüten die Brutkörper immer nur in den Achseln der Hüllblätter stehen, auf als Komplexe von reducierten Sprossen, wobei auch die ursprünglich an der Hauptachse stehenden Blätter ganz oder fast ganz reduciert sind. Nun kommt es sehr oft vor, dass um die zwitterigen Blütenstände dicht gedrängt, neben einander Blätter mit Brutkörpern in den Achseln stehen, welche Blätter dann öfters nach der Blüte zu kleiner werden. So entsteht der Kranz von Brutkörpern der fast immer um

Digitized by Google

die Blüten steht. Die Brutkörper und Schleimhaare, die man in Gruppen zwischen den Geschlechtsorganen findet, führe ich auf die reducierten Blätter des Hauptsprosses zurück. Nach meiner Meinung sind also die Brutkörper und die dazwischen stehenden Schleimhaare homolog und zurückzuführen auf Protonemafäden welche aus dem Blattgrunde oder aus den reducierten Blattanlagen entstehen.

In den Fällen, wo die Brutkörper allein in einem Becher stehen, kann man auf dem Querschnitt sehen, dass nach der Mitte die Blätter mehr reduciert werden und dass schliesslich die jüngsten Segmente ganz zur Bildung der Brutkörper aufgeteilt werden. Dann wird auch der ursprünglich zur Stammbildung bestimmte Teil ganz oder teilweise mit bei der Brutkörperbildung in Anspruch genommen und entstehen dann hier auch Brutkörper, welche auf stammbürtiges Protonema zurück zu führen sind. Ähnliches werden wir sehen bij *Georgia* und besonders bei *Aulacomnium androgynum*

BRUTORGANE BEI ANDEREN SPLACHNACEEN.

In der Litteratur findet man Brutkörper erwähnt bei *Tayloria*-Arten und Brutknöllchen bei *Splachnum*. Die Brutkörper der *Tayloriën* sind von Correns ausführlich für T. *serrata* beschrieben. Sie entstehen dort am Rhizoidenfilz der Stämmchen. Sie sind länglich spindelförmige, gerade oder mehr oder weniger gekrümmte spitze Zellfäden und bestehen aus 4—8 Gliedern. In der Mitte sind sie am breitesten, nach oben zu nimmt die Dicke rasch ab. Die Wände stehen quer, Längswände habe auch ich nicht beobachten können. Die Wände sind goldgelb bis gelbbraun, nach oben zu wird die Farbe heller. Die Ablösung findet statt durch ein sehr flaches Brachytmema, dessen Reste man meistens an den abgefallenen Brutkörpern sehen kann. Versuche, die mir zur Verfügung stehenden alten von Herbarmaterial stammenden Brutkörper, keimen zu lassen sind leider

Digitized by Google

negativ ausgefallen so, dass die Frage, wie und ob die Körper keimen, noch unentschieden bleiben muss. Ganz ähnliche Brutkörper wie *T. serrata* hat auch *T. acuminata.*

Bei *T. Moritziana* entstehen aus der Epidermis des Stämmchens in der Nähe der Blattachsel dichte Büschel von Protonemafäden mit sehr wenig Chlorophyllkörnern und langen schmalen Zellen. In den meisten Fällen sind diese Fäden unverzweigt. Am Ende dieser Fäden werden nun eigentümliche Brutkörper (fig. 25) gebildet. Sie sind ziemlich lang und spindelförmig und bestehen aus 3—6 Zellen. Diese Zellen haben farblose dicke Wände, auch die geraden Querwände sind sehr verdickt. Die Zellen sind auch dicht mit Stärkereichem Inhalt gefüllt. In der Mitte sind die Körper am breitesten. Die gewöhnliche Form ist, dass sie aus vier Zellen bestehen, die beiden unteren sind nicht viel kürzer als die des Trägers, nach oben zu werden die Zellen bedeutend kürzer. Die obere Zelle ist meistens abgestumpft. An der unteren Zelle kann man meistens einen Teil der zerrissenen oberen Zelle des Trägers bemerken, diese Zelle weicht aber weder in Grösse noch in Dicke der Wände von den übrigen Trägerzellen ab. Oft kommt es vor, dass die obere Zelle ausgewachsen ist zu einigen dünnwandigeren schmäleren längeren Zellen, wahrscheinlich sind dies Keimungsstadien. Auch kommt es öfters vor, dass der Brutkörper ohne von dem Träger abgelöst zu werden, als Protonemafaden wieder weiterwächst. In einzelnen Fällen konnte ich Körper finden, bei welchen die mittlere

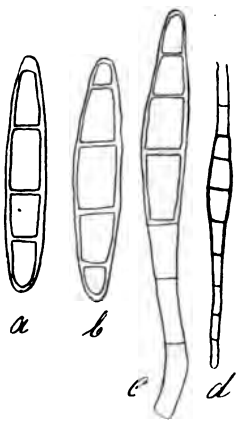


Fig. 25. Brutorgane von *Tayloria Moritziana.* *a* und *b* vom Stiele abgelöst, *c* gestielt, *d* am Stiele sitzend, die obere Zelle wieder zum Protonemafaden ausgewachsen.

Digitized by Google

Zelle die normale Grösse hat, aber wo dann nach beiden Seiten die Grösse der Zellen abnimmt und die Körper also an den beiden Enden eine abgerundete kleine Zelle haben.

Auch in der Gattung *Splachnobryum* kommen solche auf Protonemafäden zurückzuführende Brutkörper vor. Am deutlichsten ist das bei *S. Geheebi*. Die Brutkörper sind auch hier 4—6 zellige, spindelförmige Körper. Die Zellen sind dünnwandig, verhältnissmässig breit und kurz. Die Endzelle ist entweder abgerundet oder stumpf zugespitzt. Die Wände stehen nahezu quer. Auch bei diesen Körpern liegt die grösste Breite in der Mitte. Auch findet man immer an den abgelösten Brutkörpern einen kleinen Kragen, den Rest des zerrissenen Tmema's. Weiter konnte ich Stärke in den Zellen, welche viel Inhalt führen, nachweisen. Im Allgemeinen haben sie also viel Übereinstimmung mit den Brutkörpern von *Tayloria serrata*, nur dass hier die Wände immer farblos sind und dass sie hier an anderer Stelle gebildet werden. Die Körper sitzen auf meistens kurzen, aus 2—4 langen, schmalen Zellen bestehenden Fäden mit geraden Wänden und, so weit das Material beurteilen lässt, wenig Chlorophyll. Ausnahmsweise kommen längere Träger vor. Die Endzelle ist sehr flach und wird bei der Ablösung immer zerrissen so, dass die Endzelle des Trägers nachher einen kleinen

Fig. 26. Brutorgane von *Splachnobryum Geheebi*, bei *a* ein noch am Stiel fest sitzender Körper, an den anderen Stielen sind die Krägen, die Reste der Trennungszellen, noch sichtbar.

Digitized by Google

Kragen trägt.[1]) Diese Körper entstehen nun in grosser Zahl aus den Epidermiszellen der Stämmchen. Sie können dabei über die ganze Oberfläche verteilt sein, meistens aber stehen sie in langgestreckten Gruppen. Dem oberen Teil der Stämmchen fehlen sie. Im Allgemeinen kann man sagen, dass der Teil, an welchem die Archegonien, die wie gesagt bei dieser Art einzeln stehen, sich befinden und der Teil, wo die Körper auswachsen, zwar aneinander grenzen, aber sich doch fast ausschliessen. Immerhin kommt es vor, dass zwischen den Brutkörperträgern auch kurz gestielte Archegonien stehen.

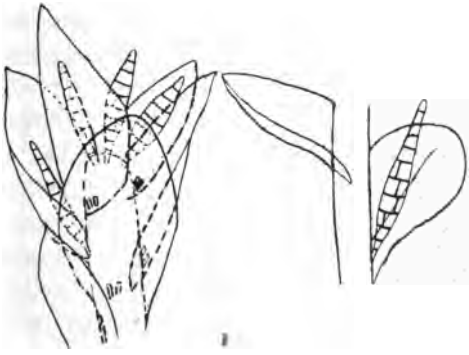


Fig. 27. Brutkörper von *Splachnobryum erosulum*.

Bei *Splachnobryum erosulum* kommen Brutkörper vor in den Blattachseln des oberen Teils der Stämmchen. In den meisten Fällen stehen sie einzeln oder zu zwei. An den Spitzen der Stämmchen stehen sie oft in grösserer Zahl, ohne dass sich noch Blätter dazwischen entwickeln, zusammen. Die Körper sitzen auf sehr kurzen einzelligen Stielen. Sie sind kolbenförmig, die unteren Zellen sind noch schmal, bald aber werden sie ziemlich breit um dann wieder allmählich schmäler zu werden. Die drei bis

1) Wir haben es hier also mit einem echten Brachytmema im Sinne Correns' zu tun.

Digitized by Google

vier oberen Zellen sind sehr klein und schmal. Die Endzelle ist abgerundet. Die Wände sind nicht verdickt und mit Ausnahme der Endzelle gelbbraun. Die Endzelle ist farblos. Hier und da kommen auch Längswände vor in dem breiten Teil.

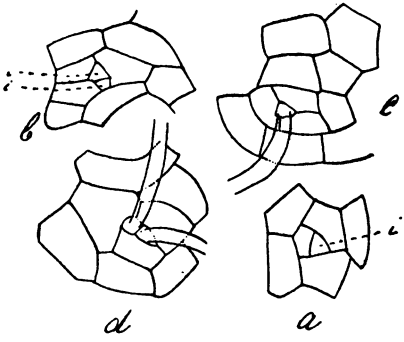


Fig. 28. Brutknöllchen von *Tayloria Dubyi*. Teile der Oberfläche, teils mit noch nicht, teils mit schon ausgewachsenen Rhizoidinitialen.
***a.* mit 1 Rhizoidinitiale. *b.* mit 2 nebeneinander. *c.* 1 Rhizoidinitiale ausgewachsen. *d.* 2 nebeneinander gelegene Initialen ausgewachsen.**

Tayloria Dubyi ist im Besitze von Brutknöllchen (fig. 28), welche denen von *Bryum erythrocarpum* in vieler Hinsicht gleichen. Sie entstehen an den aus den Stämmchen entspringenden Rhizoiden und sind immer ganz kurz gestielt. Immer stehen sie vereinzelt. Die Knöllchen bestehen aus grossen unregelmässig sechseckigen Zellen, die nach aussen zu meistens ziemlich stark gewölbt sind. Die Wände sind dunkelbraun gefärbt. Die Form der ausgewachsenen Knöllchen kann auch hier sehr unregelmässig werden durch grosse Vorsprünge und Wülste. Was Inhalt anbetrifft sind die Knöllchen meist fast ganz mit Oel gefüllt.

An den Brutknöllchen kann man nun an mehreren Stellen zwischen den grossen Zellen auch noch kleinere bemerken. Meistens liegt nur eine solche zwischen drei bis vier grösseren. Es kommt aber oft vor, dass mehrere (bis drei) zusammen liegen, dann hat meistens eine eine annäherend dreieckige Gestalt und macht die ganze Gruppe den Eindruck einer Scheitelzelle mit einigen Segmenten. (Nebenzellen nach Correns.)

Digitized by Google

Obgleich mein Material schon einige Jahre alt war, versuchte ich die Knöllchen keimen zu lassen und zwar auf Torf und in einer gewöhnlichen vollständigen Nährlösung. In beiden Fällen fing die Keimung schon nach einigen Tagen an. Sehr auffallend war, dass die dreieckigen kleinen Zellen und auch oft eine der Nebenzellen ihre dunkele Farbe verloren und sehr hell wurden. Bald wuchsen nun aus diesen Zellen Rhizoiden aus. In beiden Kulturen aber besonders auf Torf waren die Wände gelblich. Auf Torf wurden die Rhizoiden meistens nicht sehr lang und wurden bald junge Pflänzchen angelegt.

In Nährlösung wuchsen sehr lange Rhizoiden aus, die wenige, längliche, kleine Chloroplaste führten. Die langen Rhizoiden bilden aus fast jeder Zelle einen kürzeren oder längeren Protonemafaden und zwar immer aus dem Ende der Zelle, das nach der Spitze der Fäden gerichtet war. In kurzer Zeit hatte sich aus jedem Knöllchen ein reich verzweigtes System von Rhizoiden und Protonema gebildet. An den Rhizoiden wurden weiter auf ganz gewöhnliche Weise junge Knospen angelegt. Nur kam es öfters vor, dass so eine Knospenanlage sich bis zu einem kleinen Zellkörper entwickelte und, dass dann eine der Zellen, gewöhnlich die obere, einfach wieder als Protonemafaden weiterwuchs. Da ich keine Entwicklungsstadien der Knöllchen habe finden können, kann ich nicht entscheiden, ob man diese Gebilde als wirkliche Wurzelknöllchen auffassen muss oder wie bei *Bryum erythrocarpum* als Mittelbildungen zwischen Stämmchen und Wurzelknöllchen, wobei dann die Initialen aus ruhenden Astanlagen hervorgegangen sind.

Die Wurzelknöllchen, die Schimper in Bryol. europ. Vol. III für *Splachnum sphaericum* und *ampullaceum* angiebt, hat Correns auf Seite 333 unter den fraglichen Fällen angeführt. Auch ich habe bei *Splachnum*-Arten bis jetzt keine Wurzelknöllchen gefunden.

Die hier erwähnten Brutorgane sind also, mit Ausnahme

Digitized by Google

von den Brutknöllchen bei *Tayloria Dubyi*, von welchen ich durch das Fehlen der Entwicklungsstadien nichts über die Deutung mit Sicherheit sagen kann, auf umgebildete Protonemafäden zurückzuführen.

GEORGIA PELLUCIDA. [1])

Wie bekannt werden hier die Brutkörper in Körbchen an der Spitze der Stämmchen gebildet. In der Mitte der Körbchen sind die Blätter sehr oder ganz reduciert, mehr nach aussen werden sie grösser. Man kann nun bei *Georgia* zwei Typen unterscheiden, ein mit grossen Körbchen und grossen, breiten, in der Mitte ausgebuchteten Hüllblättern und mit Stämmchen, die bis am Körbchen normal beblättert sind, und ein mit ziemlich langen, Pseudopodienähnlichen wenig beblätterten Sprossen, die Blätter werden dann auch nach oben zu allmählig kleiner ;der Brutkörperbecher hat dann fast kugelige Form, die Hüllblätter sind dann oft so klein, dass man sie erst bei aufmerksamem Zusehen, unter den Brutkörpern fast verborgen, bemerken kann. Es kann so weit gehen, dass die ganzen Pflänzchen beinahe ein Aussehen bekommen wie *Aulacomnium androgynum*, wenn hier die Pseudopodien noch wenig ausgewachsen sind. Das Auftreten dieser beiden Formen hängt sicher nicht von Licht oder Feuchtigkeit ab. Sowohl an den natürlichen Standorten, wie in meinen Kulturen habe ich beide Formen in denselben Rasen neben einander gefunden. Vielleicht gehören die grossen Körbchen zu älteren Pflanzen, vielleicht hängt es mit der Bildung der Geschlechtsorgane zusammen, jedenfalls waren die Körb-

---

1) Wichtigste Litteratur: Schimper. Recherches anatomiques et morphologiques sur les mousses. — Berggren. Jakttagelser öfver mossornas könlosa fortplanting. Lunds Univ. Arsskrift. 1864 — id. Studies öfver mossornas bygnad och utveckling. II Tetraphideae Lunds Univ. Arsskrift 1870. — Correns. Berichte D. Bot. Ges. XIII — Goebel. Organographie p. 361. Correns. Vermehrung der Laubmoose p. 191. ff.

Digitized by Google

chen, die auch Geschlechtsorgane führten, gross und mit grossen Hüllblättern versehen. Bevor ich nun mit der Entwicklung und der Deutung der Brutkörper anfange, möchte ich noch ganz kurz die alten Auffassungen dieser Gebilde besprechen.

Hauptsächlich durch die äusserliche Übereinstimmung der Brutkörperbecherchen mit männlichen Blüten wurde Schimper[1]) zu der Vermutung veranlasst, es handle sich bei den Brutknospenbechern um „Vergrünungen von männlichen Blüten". Auch Correns hielt sich in seiner ersten Arbeit[2]) noch einigermassen an dieser Auffassung, indem er die Körbchen betrachtet als eine männliche Blüte, deren Antheridien weggefallen sind und deren Paraphysen zu Brutkörpern geworden sind. Goebel[3]) sagt mit Recht, dass die Übereinstimmung mit männlichen Blüten eine rein äusserliche ist und fasst die Brutkörper auf als eigenartige Protonemabildungen einigermassen den Protonemablättern ähnlich. U. a. war er dazu geleitet dadurch, dass Correns bei den sogenannten Protonemabäumchen (eigentümliche Protonemabildungen, welche reich verzweigt sind und an den Spitzen der Zweige Schleimhaare und Brutkörper bilden) das Vorkommen von Brutkörpern erwähnte und er bemerkt dazu „Wie sollten aber Paraphysen auf das Protonema kommen". In seiner letzten Arbeit[4]) bemerkt Correns hierzu, dass er die Brutkörper nur an den Bäumchen, meist in Büscheln, nicht an den Fäden gesehen hat und dass er die Baümchen wie die Protonemablätter als Mittelbildung zwischen Protonema und den beblätterten Pflänzchen auffasst. Die Brutkörper tragenden Aeste der Baümchen sind durch die Ausbildung von Keulenhaaren noch sprossähnlicher als die übrigen. Die von ihm in

1) Schimper. Rech. anat. et morph. sur les Mousses und Bryologia Europaea Vol. III.
2) Correns. Berichte D. Bot. Ges. Bd. XIII.
3) Organographie p. 361.
4) Vermehrung der Laubmoose.

Digitized by Google

seiner ersten Arbeit abgebildeten Zwergpflanzen betrachtet er als eine Annäherung zu diesem äusserst reduzierten Stadium. (Die von mir abgebildeten reducierten Pflanzen fig. 37 und 38 kann man ganz gut betrachten als Übergänge zwischen solchen noch mit einigen Blättern, wenn auch oft reduzierten, versehenen Zwergpflänzchen und den Protonemabäumchen). Als Stütze für die Auffassung der Brutkörperbecher als modifizierte Blüten erwähnt Correns das Verhalten von *Oedipodium*, wo die Brutkörper fur sich allein oder mit Geschlechtsorganen zusammen vorkommen können. Er kann sich nun ganz gut vorstellen, dass die aus Paraphysen entstandenen Brutkörper, die zuerst wie bei *Oedipodium* neben Sexualorganen ausgebildet worden waren, selbst bei einer Rückbildung des Stämmchens zu einem Bäumchen erhalten bleiben können.

Es war Correns auch schon aufgefallen, dass die Brutkörper in der Stellung mit den Keulenhaaren übereinstimmten und er hat dann auch die Meinung geäussert, dass sie vielleicht modifizierte Keulenhaare seien.

Nun fand er aber in den Achseln der unteren Hüllblätter der Körbchen Gebilde „die zwischen den Brutkörpern und den Protonemablättern oder den gewöhnlichen Blättern zu vermitteln schienen", Gebilde mit langen einzellreihigen Stielen, welche statt Brutkörper aber eine kleine, einschichtige oder in der Mitte mehrschichtige Lamina und keine Trennzelle besitzen. Der Stiel kann auch aus zwei Reihen bestehen oder noch breiter sein. Er bemerkt hierzu: Derartige Gebilde erinnern ganz an Paraphyllien, welche bei *Tetraphis* aber nicht vorkommen. Auch an den Protonemablättern erinnern sie und da sie, sagt er, an beiden Rhizoidinitialen vorkommen, so könnte man wegen dieser Gebilde, nicht wegen des Auftretens an den Bäumchen die Brutkörper von Protonema herleiten, wenn nicht, wie er noch dazu bemerkt, die auffällige Übereinstimmung mit den Keulenhaaren in der Stellung und die

Digitized by Google

Beschränkung der Brutkörperbildung auf die Körbchen da wären und diese ihrerseits wieder den sicher aus Blüten hervorgehenden Körbchen bei *Oedipodium* so ähnlich wären.

Zur Zeit sieht Correns keinen Ausweg, er führt *Georgia* als Art mit Protonemabrutkörpern auf, weil damit nicht viel verfehlt sein kann. Denn das Protonema war, wenn auch vielleicht nicht das directe Ausgangsmaterial für den phylogenetischen Entwicklungsprozess der Brutkörper, so doch das indirekte, weil die Keulenhaare und Paraphysen sich doch wohl auch aus Protonema gebildet haben.

So weit die älteren Auffassungen. Es ist auch mir wie Correns gelungen einige Male die Brutkörper zusammen mit Geschlechtsorganen zu finden. Nebenstehende Figur zeigt einen Querschnitt durch ein solches Körbchen. Eine bestimmte Anordnung lässt sich allerdings nicht daraus schliessen. Die Archegonien stehen in einer Gruppe, die Brutkörper auch, mit einigen Ausnahmen; einige stehen nämlich zwischen den Archegonien. Dazwischen sieht man die durchgeschnittenen Paraphysen und Brutkörperstiele. Leider ist mir der den Vegetationspunkt enthaltende Schnitt verloren gegangen so, dass ich über das Verhalten zu den Segmenten in diesem Falle nichts sagen kann.

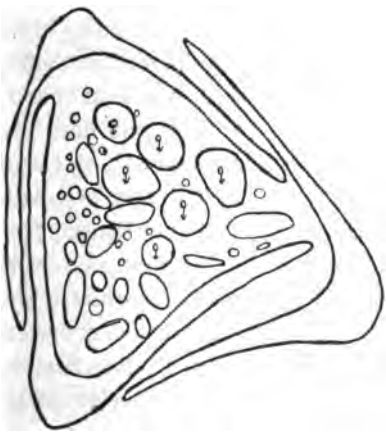


Fig. 29. Querschnitt durch ein Brutkörperbecherchen von *Georgia pellucida* mit Brutkörpern und Archegonien (♀). Dawischen durchgeschnittene Haare und Brutkörperstiele.

Wie die Brutkörper entstehen, kann man am Besten

Digitized by Google

sehen an einem Querschnitt durch ein nur Brutkörper enthaltendes Körbchen. Auf Schnitten höher als der Vegetationspunkt sieht man die Brutkörper überall zwischen den Blättern stehen, dichtgedrängt und zusammen mit Schleimhaaren, wie auf einem Längsschnitt deutlich ist. Wenn man einen Schnitt untersucht durch den Vegetationspunkt kann man wahrnehmen, dass die Brutkörper und Schleimhaare ihren Ursprung nehmen aus den Zellen, des nach der Scheitelzelle gekehrten Teils der Segmente. Aus fast jeder Zelle dieses Teils können schon an den jüngsten Anlagen die Brutkörper und Schleimhaare auswachsen. Es scheint, dass an älteren Körbchen auch die allerjüngsten Blattanlagen ganz aufgeteilt werden. Man kann also hieraus schliessen, dass Brutkörper und Schleimhaare dieselbe Entstehungsweise haben und dass beide ursprünglich auf Protonemafäden zurückzuführen sind, welche Fäden dann der Hauptsache nach, aus dem oberen Teil der Segmente entstehen. Auch die Tatsache, dass die erste Anlage der Brutkörper einen Faden bildet, der aus einigen kurzen Zellen besteht, die sich später strecken können, und an dem dann die obere Zelle zur Brutkörperbildung schreitet, spricht für diese Auffassung. So weit haben wir also Übereinstimmung mit *Oedipodium*. Ein Unterschied mit *Oedipodium* tut sich aber bei den ersten Teilungen in der oberen Zelle der Brutkörperanlage hervor. In normalen Fällen wird nämlich bei *Georgia* eine zweischneidige Scheitelzelle gebildet. Aber schon aus den Figuren von Correns geht hervor, dass es auch vorkommt, dass wie bei *Oedipodium* eine Teilung in Quadranten und die sonstigen zu dieser gehörenden normalen Teilungen statt finden können, so dass auch hierin nicht, wie es im Anfang scheint, ein prinzipieller Unterschied liegt.

Nun ist aber noch eine wichtige Frage, wie man die Gebilde, welche Correns auffasst als Uebergänge zwischen Brutkörpern und Blättern oder Protonemablättern, auffassen

Digitized by Google

muss. Auch ich habe mehrmals zwischen den äusseren Hüllblättern solche Gebilde gefunden. Wie Correns fand ich oft solche die den Brutkörpern in Form sehr ähnlich jedoch einschichtig waren und auf einzellreihigen Stielen standen aber keine Trennzelle hatten. Dann aber auch Gebilde, wo die oberen Stielzellen nicht mehr langgestreckt und dünnwandig waren, sondern kurz und mit genau so gut verdickten Wänden wie sonst die Brutkörper haben (fig. 30*b*) und auch genau so chlorophyllreich, während sonst die Stielzellen keine oder nur sehr wenige, winzige Chlorophyllkörner führen. Weiter giebt es solche, bei welchen der obere Teil des Stieles aus zwei oder mehreren Zellenreihen besteht. Der Übergang zwischen Stiel und oberem Teil war dann ein sehr allmähliger. Initialen habe ich hier nicht finden können. Dann fand ich auch wie Correns solche deren Stiel noch viel breiter war als bei den zuletztgenannten, so dass die Gebilde sehr an Paraphyllien erinnern.

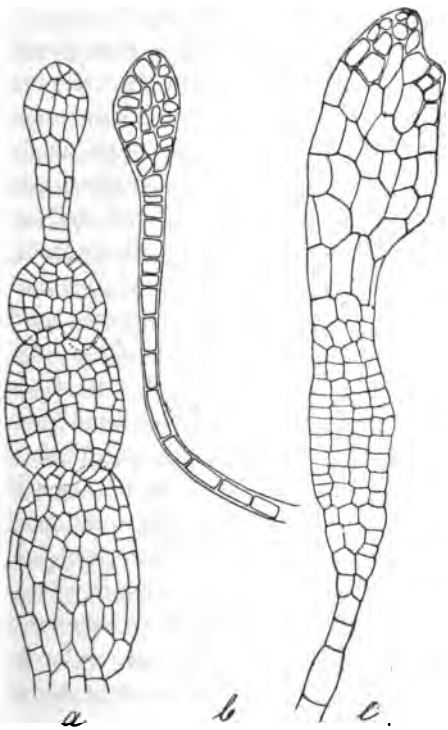


Fig. 30. Gebilde zwischen den Hüllblättern der Brutkörperbecher von *Georgia* von Correns früher als Uebergangsbildungen zwischen Blättern und Brutkörpern gedeutet.

Digitized by Google

Weiter konnte ich einige Male beobachten, dass auf einem chlorophyllarmen Stiel sich ein, aus in regelmässigen Reihen angeordneten, annäherend rechteckigen Zellen bestehender Teil befand. Diese Zellen waren offenbar durch die Teilungen einer einschneidigen Scheitelzelle entstanden und haben auch etwas mehr Chlorophyll; dann folgte ein Teil aus grossen unregelmässigen unten noch dünnwandigen Zellen bestehend (fig. 30*c*), indem nach oben zu die Zellen mehr verdickte Wände haben, und die Spitze tatsächlich aus Zellen besteht, die genau so chlorophyllreich sind und genau so verdickte Wände haben, wie die der Brutkörper. Der Stiel kann nun auch mehrzellreihig werden, der aus in Reihen geordneten Zellen bestehende Teil grösser und dann kann der ganze obere Teil aus Zellen bestehen, die was Chlorophyll und Verdickungen betrifft, den Brutkörperzellen ungefähr gleich sind. Daneben fand ich dann noch höchst eigentümliche, aus verschiedenen Teilen zusammengestellte Gebilde (fig. 30*a*). Man kann 4 Teile unterscheiden, die drei unteren stehen schief auf einander und sind nur durch einige wenige Zellen an einander befestigt. Darauf folgen einige kurze breite Zellen und dann wieder ein Teil mit verdickten Wänden. Besser als Beschreibungen werden hier die beigegebenen Figuren diese Gebilde erklären.

Ein wichtiger Punkt ist, dass diese Gebilde nicht an der Stelle der Hüllblätter stehen, sondern immer dazwischen und zwar ziemlich unregelmässig, oft stehen einige zusammen, oft stehen sie vereinzelt; die Hüllblätter treten trotzdem in derselben Zahl und Anordnung auf wie sonst. Mit den Blättern sind sie also nicht, wie Correns meint, gleich zu stellen. Ihr Entstehungsort ist genau derselbe wie der der Brutkörper und Schleimhaare. Welcher ist nun eigentlich der Unterschied zwischen Paraphyllien und diesen Gebilden. Goebel [1]) hat die Entwicklungsgeschichte

1) Organographie p. 365.

Digitized by Google

der Paraphyllien bei *Hylocomium splendens* untersucht. Er fand die Zellenanordnung im Anfang, wie die der Laubmoosblätter, nämlich mit zweischneidiger Scheitelzelle, bei *Thuidium* jedoch, wo sie auch aus den Blattbasen entspringen können, wachsen sie ohne zweischneidige Scheitelzelle und mit Antiklinen und Periklinenfächerung. Goebel fasst dann die Paraphyllien auf als aus der Stammoberfläche entspringende Protonemaäste begrenzten Wachstums, die sich teilweise zu Zellflächen entwickelt haben, teilweise eine den Blättern analoge Wachstums- und Ausbildungsweise erlangt haben.

Genau solche Gebilde haben wir nun auch in diesem Fall; dass diese von fadenförmigen Protonema, abzuleiten sind genau so wie die Brutkörper und Schleimhaare ist aus den verschiedenen Übergängen deutlich zu sehen. Es sind einfach flächenförmig gewordene Protonemafäden. Dass sie meistens im oberen Teil brutkörperähnlich werden, weist nur hin auf eine enge Verwandtschaft zwischen diesen verschiedenen auf ursprünglich fadenförmiges Protonema zurückzuführenden Gebilden. In den Schleimhaaren haben wir also Protonemafäden von beschränktem Wachstum; wenn das Wachstum etwas weniger beschränkt ist, können diese zu grösseren oder kleineren Flächen sich ausbilden, diese sind dann die normalen Brutkörper, welche der Vermehrung angepasst sind, weshalb sie auch mit einer Ablöseeinrichtung versehen sind. Nun kann der Übergang zwischen Brutkörper und Stiel ein allmähliger werden oder mit anderen Worten nicht allein die obere Zelle sondern auch die darunter gelegenen Zellen sich teilen. Es kann aber auch vorkommen, dass die Anlage nicht einmal zu einem Faden auswächst, sondern sich direct teilt durch Längswände und so stiellose Gebilde hervorbringt. Diese können dann vom Anfang an mit zweischneidiger Scheitelzelle wachsen oder erst mit einschneidiger und dann mit zweischneidiger. Das ganze

Digitized by Google

Scheitelzellenwachstum kann dann schliesslich noch verwischt werden. So haben wir also grosse Übereinstimmung mit den Protonemablättern, erstens in Form und Wachstum und zweitens in der Entstehungsweise, denn auch diese sind auf flächenförmig gewordenes Protonema zurückzuführen.

Jedenfalls kann man im Grunde diese sämtlichen Gebilde auffassen als entstanden aus Protonemafäden mit beschränktem Wachstum, welche sich verschiedenen Funktionen: Schleimbildung, Vermehrung oder Assimilation angepasst haben.

Bei ausgewachsenen Blättern stehen die Brutkörper nun nicht allein in den Achseln sondern oft mit Schleimhaaren auf der Blattbasis, hieraus und auch aus der Tatsache, dass oft die ganzen Segmente, bei alten Körbchen zur Brutkörperbildung benutzt werden können, geht hervor, dass die Protonemafäden auf welche man die Brutkörper und Schleimhaare zurückführen muss, sowohl stammbürtig als blattbürtig sein können. Im Grunde ist dies aber kein grosser Unterschied, auch die gewöhnlich stammbürtigen Paraphyllien von *Thuidium* können aus den Blattbasen entstehen uud auch die Schleimhaare und Brutkörper bei *Oedipodium* zeigen das gleiche.

Wir sehen also, dass die Schwierigkeiten, die Correns macht gegen die Auffassung der Brutkörper als Protonemabildungen, nicht bestehen. Die Übereinstimmung in Stellung mit den Keulenhaaren ist, da auch diese zweifelsohne auf Protonema zurückgeführt werden müssen, gerade ein Argument für diese Auffassung, und auch die Übereinstimmung in Stellung mit den Brutkörpern von *Oedipodium* ist, nachdem ich auch diese auf Protonemabildungen und nicht auf umgeänderte Blüten habe zurück führen können, keine Schwierigkeit mehr. Ganz richtig ist es denn auch, wenn man *Georgia* zu den Moosen mit Protonemabrutkörpern rechnet und neben den Brutkörpern

Digitized by Google

auch die Paraphysen und Keulenhaare direct auf Protonema zurückführt.

Berggren hat schon die Entwicklung der Brutkörper beschrieben. In normalen Fällen entstehen sie durch 5—8 Teilungen einer normalen zweischneidigen Scheitelzelle. Durch einige Periklinen und Antiklinen und dadurch, dass in den Zellen mit Ausnahme der äusseren Schicht auch Teilungen der Oberfläche parallel auftreten, wird dann die definitive Form erreicht. Dabei teilen sich die unteren Segmente mehr als die oberen. Die Initialen entstehen entweder durch Teilungen genau so wie, wenn eine zweischneidige Scheitelzelle angelegt wird, und haben dann auch in den Anfangsstadien ein solches Aussehen, später kann man aber von dieser Bildungsweise nicht viel mehr bemerken, oder sie entstehen durch Teilungen dem Rande parallel. Auch auf den Flächen kommen hier und da Initialen vor. Sie sind an den reifen Brutkörpern zu erkennen an den kleineren Chloroplasten und an den Keimstücken, auch kommt es vor, dass die Aussenwände weniger verdickt sind.

Die reifen Brutkörper sind in der Mitte bis dreischichtige, am Rande einschichtige, meist rundliche oder etwas längliche Körper. Die äusseren Wände sind ziemlich stark verdickt, im Anfange gelblich, beim Keimen werden sie aber bis dunkelbraun. Die Chloroplasten sind ziemlich gross, weiter führen die Körper im Anfange Stärke, später Oel, besonders direct vor und während der ersten Zeit der Keimung kann man sehr grosse Oeltropfen bemerken, sie füllen oft die ganzen Zellen. An schon teilweise gekeimten Brutkörpern fallen die nicht ausgewachsenen Initialen auch durch das Fehlen dieser Oeltropfen auf.

Die Zelle unter der Brutkörperanlage teilt sich durch eine Querwand in zwei, die obere Zelle bleibt als Hypophyse oder Stielzelle am Brutkörper, die untere wird später länger gestreckt und wird bei der Ablösung zerrissen

Digitized by Google

Wir haben also hier tatsächlich mit einem echten, wenn auch länglichen, Brachytmema zu tun.

Bei der Keimung wachsen die Initialen aus, nach Correns ungefähr die Hälfte von den auf den Brutkörpern sich befindenden, und zwar war die an den meisten Brutkörpern anwesende apicale Initiale am häufigsten ausgewachsen, mit dieser wachsen nach Correns meistens die rechts und links zunächst der Insertion liegenden Initialen aus. Ich habe die Brutkörper in verschiedenen Nährlösungen keimen lassen. In sämtlichen Kulturen trat vor dem Keimen die Dunkelfärbung der Wände ein, auch traten die Oeltropfen in grosser Zahl auf, nur in der Kultur ohne Calcium bildeten sich nur wenige kleine Tropfen. An zehn Brutkörpern konnte ich in dieser Kultur im ganzen 54 Initialen zählen, von diesen waren nur 8 nicht ausgewachsen und von diesen acht waren die meisten abgestorben. An einem Brutkörper konnte ich selbst 9 Initialen finden, die alle ausgewachsen waren. Im Allgemeinen konnte ich konstatieren, dass an den Brutkörpern, die die meisten Initialen haben, die Initialen am besten und vielfachsten auswachsen, während wenn nur wenige z. B. 3 oder 4 Initialen entwickelt waren, meistens noch 2 abgestorben waren.

Die Protonemafäden verzweigen sich hier in vielen Fällen direct nach Austritt aus den Initialen zwei bis dreifach und sind sehr chlorophyllreich. Rhizoiden werden hier wenig gebildet.

In einer Lösung ohne Stickstoff waren an 12 Brutkörpern mit zusammen 69 Initialen ausgewachsen 44. Hier kam es oft vor, dass eine der beiden links und rechts in der nächsten Nähe der Stielzelle liegenden Initialen oder auch beide nicht ausgewachsen waren. Die apicale ist immer ausgewachsen. In dieser Kultur kommen farblose oder fast farblose Fäden mit Rhizoidencharakter sehr viel vor.

Digitized by Google

Auf diese Rhizoidenbildung werde ich in einer späteren Arbeit näher eingehen.

Ohne Phospat hatten sämtliche Initialen sämtlicher Brutkörper Protonemafäden getrieben. In einem Falle hatte auch ein Brutkörper auf der Fläche einen Keimfaden gebildet. Rhizoiden waren hier sehr selten.

Ohne Calcium waren an 6 Brutkörpern von 29 Initialen 23 ausgewachsen. An einem Körper, wo von 9 Initialen nur 2 nicht ausgewachsen waren, waren diese gerade die zwei in der nächsten Nähe der Stielzelle. An einem Körper lagen 4 Initialen neben einander von welchen drei ausgewachsen waren. Das hier gebildete Protonema hat vereinzelt farblose Rhizoiden.

Aus diesen Tatsachen geht hervor, dass viel mehr Initialen auswachsen, als Correns angiebt und dass es auch nicht allein vorkommt, dass die in der Nähe der Stielzelle gelegenen nicht auswachsen, sondern auch dass in vielen Fällen, wo Initialen nicht ausgewachsen sind unter diesen

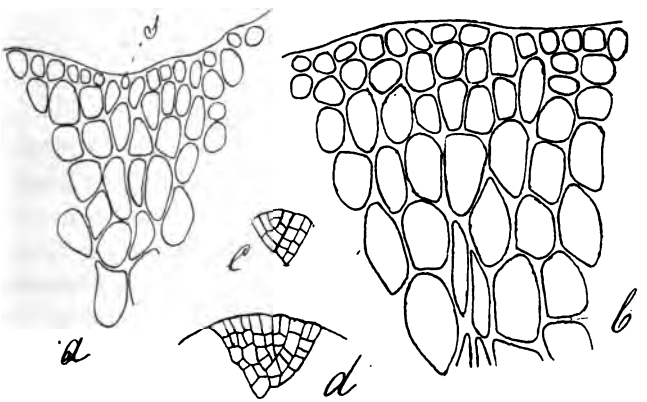


Fig. 31. Verschiedene Stadien der Entwicklung der Hüllblätter von den Brutkörperbechern von *Georgia*.
a. **Scheitelzelle *s* noch sichtbar.**
b. **Scheitelzelle aufgeteilt, deutliches Randwachstum.**
c. **u.** ***d.*** **Aufteilung der Scheitelzelle in jungen Blattanlagen.**

Digitized by Google

gerade eine oder beide dieser Zellen sind. Nur die Regel, dass die apicale wenn anwesend, immer auswächst, kann ich bestätigen.

Die **Hüllblätter** haben, wenn sie gut ausgebildet sind, eine in der Mitte ausgebuchtete Form. Es kommt nun vor, dass man an diesen noch etwas, was einer Scheitelzelle ähnlich (Fig. 31*a*) ist, finden kann, im Allgemeinen ist dies nicht der Fall und sieht man ganz deutlich, wie die letzte Grössevermehrung der Blätter durch Randwachstum (Fig. 31*b*) entstanden ist. Besonders die an der Form mit kleinen Hüllblättern sind durch früh eintretendes Randwachstum ausgezeichnet. Bei diesen kann man an den noch sehr jungen Stadien schon sehen, wie die Scheitelzelle durch eine Querwand (Fig. 31*c* u. *d*) aufgeteilt wird. Dann folgt eine Längsteilung in der oberen Zelle und dann wieder eine Querwand in der unteren; Resultat ist ein ausgesprochenes Randwachstum. Die Herzform der grösseren Hüllblätter kommt selbst bei denen, wo man noch etwas von einer Scheitelzelle bemerken kann, durch Randwachstum der Seiten und vermindertes Wachstum der Mitte zu Stande. In Verbindung mit der Tatsache, dass die Scheitelzelle fast immer auch aufgeteilt wird, hat man hier also einen ähnlichen Bildungsgang wie bei vielen Farnprothallien.

Correns erwähnt, dass es sicher ist, dass die Stammscheitelzelle in den Brutkörperbechern bald ihre Tätigkeit einstellt. Nach meiner Auffassung wird auch diese in vielen Fällen bei der Bildung der Brutkörper mit einbezogen. Nach Correns kommt es aber auch vor, dass neue Vegetationspunkte auftreten können, die nur Brutkörper hervorbringen, diese gehen aus den Astanlagen hervor und so ist also ein grösseres Körbchen als ein Zweigsystem mit völlig gestauchten Achsen auf zu fassen. Ich habe nun verschiedene Durchwachsungen gesehen, die beweisen, dass die Scheitelzelle auch behalten bleiben kann. In allen Fällen war nämlich der Hauptspross durchge-

Digitized by Google

wachsen. Die Brutkörper aus dem alten Körbchen stehen dann in einem Kranz um die Durchwachsungsstelle (Fig. 32).

Fig. 32. Durchwachsung eines Brutkörperbechers von *Georgia pellucida*. S.H. sind Schleimhaare, die vereinzel tam durchwachsenen Teil auftreten.

In einem Falle waren aus dem alten Körbchen auch zwei Seitensprosse hervorgewachsen, die auch schon zur Brutkörperbildung fortgeschritten waren. Interessant war, dass während meistens der durchgewachsene Teil ganz oder fast blattlos ist, hier an dem Hauptsprosse die Internodien des brutkörpertragenden Teils gestreckt waren so, dass man ganz deutlich jedes Blatt mit seiner Brutkörpergruppe unterscheiden konnte. Das Ende der durchgewachsenen Sprosse bildete in allen Fällen ein gewöhnlicher Becher. In einem Fall (Fig. 32) standen einige Schleimhaare vereinzelt an dem ziemlich langen blattlosen Teil zwischen dem durchwachsenen und dem Endbecher.

Am Protonema entstehen nun die sogenannten **Protonemablätter**: flächenförmige Verbreiterungen der Fäden. Wie schon gesagt entstehen sie entweder aus einem Seitenfaden oder aus der Spitze der Fäden. Im Anfang wachsen sie mit einschneidiger Scheitelzelle (Fig. 33) bis ein kurzer, aus rundlichen dicken Zellen bestehender Faden gebildet ist. Es kommt nun vor, dass dieser Faden bis 8 Zellen lang werden kann aber auch, dass schon nachdem 2—3 Zellen gebildet sind, Querteilungen auftreten. Nach einiger Zeit wird die einschneidige Scheitelzelle in eine zweischneidige umgeändert. Auch diese Wachstumsweise wird nach kürzerer oder längerer Zeit eingestellt und das Blatt wächst durch Randwachstum weiter. Ausgewachsen sind die Protonemablätter länglich zungenförmig bis breit spa-

Digitized by Google

telförmig. Sie sind im Stande besonders am Rande Rhizoiden zu bilden, die Initialen kann man an den zahlreichen kleinen Chloroplasten erkennen, bei der Bildung dieser Initialen teilt sich eine Randzelle durch eine Querwand, die obere Zelle wird dann zur Initiale.

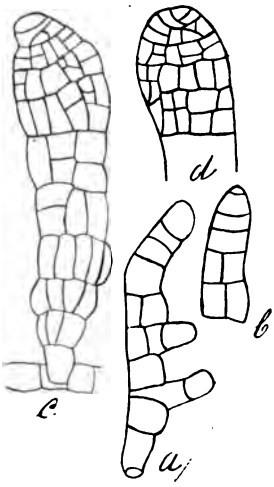


Fig. 33. Verschiedene Entwickelungsstadien der Protonemablätter von *Georgia pellucida*. (Diese Stadien sind der Deutlichkeit wegen genommen von den Adventivbildungen bei der Regeneration der Protonemablätter). *a.* und *b.* noch mit einschn. Scheitelzelle, *c.* wuchs im Anfang mit einschn, dann ist die Anlage einer zweischn. angegefangen aber nicht vollendet und das Gebilde wächst wieder mit einschn. weiter. *d.* mit zweischn. Scheitelzelle.

Die Stammknospen bilden sich hier im unteren Teil des Protonemablattes. Hier wird es mehrschichtig, die Zellen werden nach aussen vorgewölbt. Eine dieser Zellen des unteren Teils teilt sich durch eine Querwand und in der oberen Zelle finden dann nach einander Teilungen statt, wodurch eine Stammscheitelzelle entsteht. Aus den ersten der von dieser gebildeten Segmente entwicklen sich nur Schleimhaare, die bald die ganze junge Stammknospe einhüllen. Aus den übrigen Zellen des angeschwollenen Teils wachsen massenhaft Rhizoiden aus.

Die Protonemablätter können auch ganz uregelmässige Form annehmen. Oft sind sie gelappt; es kann mit der Verzweigung so weit kommen, dass das ganze Blatt so zu sagen aufgelöst wird (Fig. 34) in Fäden aus grossen rundlichen, nur hier und da mit Längswänden versehenen Zellen. Auch kommt es vor, dass ein Teil des Blattes einige Zeit mit einschneidiger Scheitelzelle wächst und dass diese dann plötzlich als Faden weiterwächst (Fig. 35).

Digitized by Google

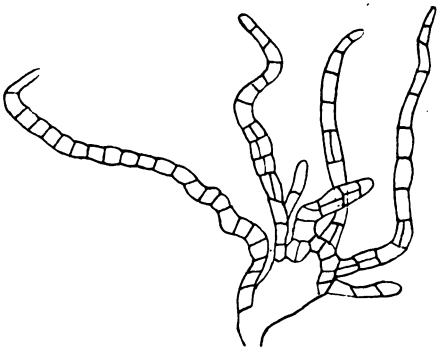


Fig. 34. Ein Protonemablatt von *Georgia* dessen oberer Teil in hier und da zweizellreihige Fäden aufgelöst ist.

Von Correns sind sogenannte Protonemabäumchen beschrieben. Gut ausgebildet habe ich sie nie finden können. Wohl habe ich auch aufrechte reichverzweigte Protonemaäste mit ziemlich angeschwollenen Zellen, hier und da mit Längswänden versehen, finden können (Fig. 36) aber Schleimhaare oder Brutkörper habe ich nie daran gesehen. Jedenfalls ist die Auffassung von Correns, der sie als Mittelbildung zwischen Protonema und be-

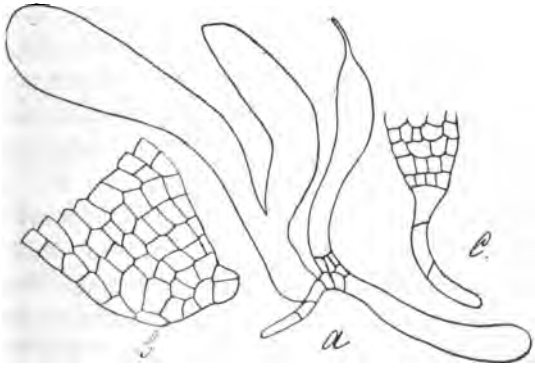


Fig. 35. *a.* Gelapptes Protonemablatt von *Georgia* *b.* Spitze von einem der Lappen. *c.* Lappen dessen Spitze zu Rhizoid ausgewachsen ist.

blätterten Pflanzen beschreibt, richtig. Man kann alle möglichen Übergänge zu diesen Bäumchen finden. So betrachte ich auch die hierneben abgebildeten Gebilde. In

Digitized by Google

einem Falle (Fig. 37) sind auf einem kurzen Seitenfaden des Protonemas einige Brutkörper und Schleimhaare gebildet, im anderen Fall (Fig. 38) ist ein ziemlich grosser Zellkörper an der Stelle, wo sonst die junge Knospe entsteht, gebildet. Ziemlich unregelmässig wachsen hier aus den Oberflächenzellen die Schleimhaare und Brutkörper hervor. Eigentümlich ist, dass sich aus anderen Zellen des geschwollenen Fusses einige Schleimhaare und ein Brutkörper entwickelt haben. In allen Fällen kann man aber zwischen den Brutkörpern eine Stammscheitelzelle wahrnehmen.

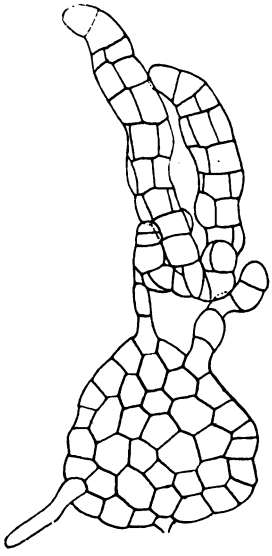


Fig. 36. Gekeimter Brutkörper von *Georgia*. Am Protonema hat sich ein aus mehreren Zellenreihen bestehendes verzweigtes Gebilde entwickelt. Wahrscheinlich eine Übergangsbildung zu den von Correns beschriebenen Protonemabäumchen.

Wenn man die Protonemablätter auf Torf auslegt so machen sie an der Oberseite eine Menge Adventivbildungen, welche wieder zu Protonemablättern auswachsen. An diesen kann man in ganz vorzüglicher Weise die Art der Protonemablattentstehung studieren (vergl. Fig. 33). Man findet hier alle Übergänge von der Fadenform bis zur zweischneidigen Scheitelzelle. Erwähnt muss noch werden, dass jedes dieser Gebilde durch Auswachsen einer Zelle entsteht. Neben diesen Gebilden findet man an der vom Substrat abgekehrten Seite einige Knospen und an der dem Substrat anliegenden, eine Anzahl Rhizoiden und zwar bezonders viel in der Nähe der Knospen. Die Knospen entstehen aus einer Zelle des Protonemablattes ohne dass vorher ein sekundäres Blatt gebildet

Digitized by Google

wird. Von einer Polarität kann man nichts bemerken (Fig. 39). Die Protonemablätter zeigen also in den Beziehungen grosse Übereinstimmung mit den von der Mittelrippe isolierten Thallusflügeln von *Blyttia Lyellii* [1]). Hierauf werde ich bei der Besprechung des Verhaltens der Blätter von *Oedipodium* noch zurück kommen.

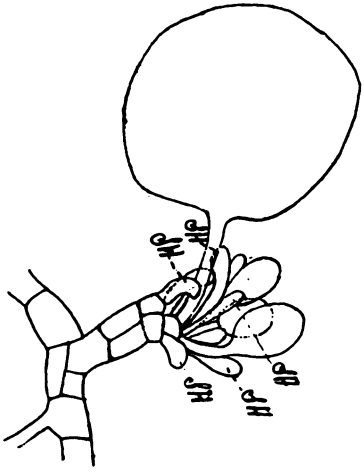


Fig. 37. Am Protonema von *Georgia* hat sich ein kurzer Seitenfaden gebildet dessen oberer Teil eine grosse Anzahl von Schleimhaaren und Brutkörpern entwickelt hat. Von den Brutkörpern fällt einer durch Grösse auf. Blätter sind absolut nicht gebildet. Man hat hier also eine bis zum äussersten reduzierte Miniaturpflanze. SH = Schleimhaare.

Oft kommt es vor, dass die so entstandenen Adventivbildungen schon, wenn sie noch sehr wenig entwickelt sind, Knospen bilden. Ich muss noch einen eigentümlichen Fall erwähnen, dass über das ganze Blatt keine Adventivbildung oder Knospe oder Rhizoid entstand aber, dass nur aus dem unteren Teil eine ganze Menge von schmalen Adventivbildungen hervorwuchsen.

In einer vollständigen Nährlösung wurden aus den Protonemablättern eine Anzahl Fäden von ausgesprochenem Protonemacharakter gebildet. Diese entstehen sowohl aus den Randzellen wie aus der Oberfläche. An den Blättern selbst werden viel weniger Adventivbildungen, wie ich sie oben beschrieben habe, gebildet als auf Torf. An den Protonemafäden entstehen nun viele rudimentäre Protonema-

1) Goebel. Allg. Regenerationsprobleme. Flora. Erg. Band 1905 p. 408.

Digitized by Google

blätter. Im einfachsten Falle bestehen diese aus einer Reihe von kurzen, breitrundlichen Zellen mit viel Chlorophyll (Fig. 40). In den best entwickelten treten auch Längswände auf. Oft kommt es vor, dass an diesen ganz schmalen Protonemablättern, wenn man diese Gebilde noch so nennen darf, unten einige Zellen aufschwellen und einen kleinen Zellkörper bilden an dem dann Rhizoiden und eine junge Knospe entstehen. Nur in Kulturen ohne Ca konnte ich noch Knospen beobachten direct an den alten Protonemablättern. Auch kamen hier noch solche Adventivbildungen an den Blättern vor. Kurz will ich noch erwähnen, dass die Rhizoidbildung am Besten war in Lösungen ohne Stickstoff.

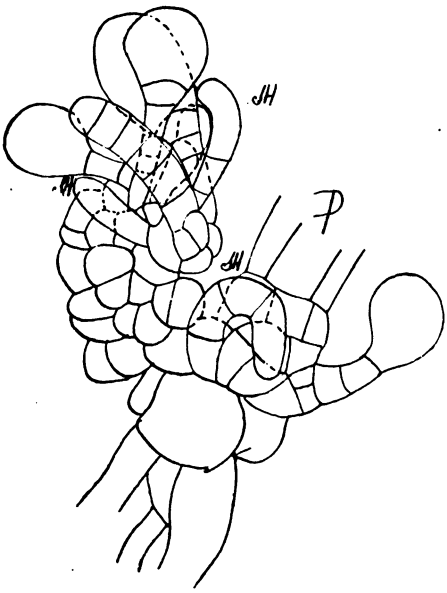


Fig. 38. Am Protonemablatt P. hat sich aus dem unteren Teil ein Zellkörper entwickelt der eine Scheitelzelle gebildet hat aber keine Blattanlagen. Aus verschiedenen Zellen sind nun Brutkörper und Schleimhaare ausgewachsen. Wenn dieses Gebilde länger und mehr verzweigt wäre, würden wir hier ein Protonemabäumchen im Sinne Correns' haben.

Noch eine Eigentümlichkeit tut sich in diesen Kulturen vor. Wenn an den Protonemablättern, bevor sie in die Nährlösungen kamen, schon die Anlage einer Knospe anwesend war, so wuchs diese einfach aus zu einem Stämmchen, ohne dass auf den Blättern Neubildungen auftraten; wenn dann die Knospe oder das junge Stämmchen abge-

Digitized by Google

Fig. 39. Regeneration der Protonemablätter von *Georgia*. Ohne Polarität zu zeigen, entstehen hier eine Anzahl von Adventivbildungen von Protonemanatur, weiter einige Stammknospen K, ohne dass dabei ein sekundäres Protonemablatt auftritt und weiter zerstreut Rhizoiden.

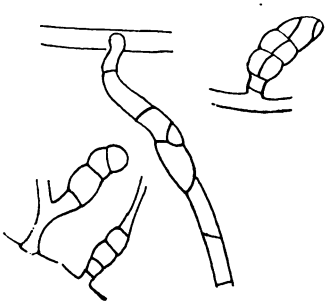


Fig. 40. Umgebildete Protonemablattanlagen aus den Flüssigkeitskulturen von *Georgia*.

schnitten wurde, fing das Protonemablatt an die beschriebenen Neubildungen hervor zu bringen.

Auch konnte man in diesen Kulturen oft sehen, wie so ein rudimentäres Protonemablatt nach einiger Zeit als gewöhnlicher Faden weiterwuchs.

Die Blätter von vielen Moosen sind im Stande Protonema zu bilden, wenn sie auf Torf oder in Nährlösungen ausgelegt werden. Correns giebt an vielen Stellen Beispiele. Auch die Blätter von *Georgia* bilden nach ihm Protonema und zwar sowohl an der Ober-, wie an der Unterseite und aus Initialen die vorzüglich am Rande und speziell gegen die Spitze zu vorkommen. Nun erwähnt Correns schon, dass die Fäden trotzdem hauptsächlich aus der Lamina auswachsen. In allen meinen Kulturen konnte ich nie ein Blatt finden, wo Randzellen ausgewachsen waren. Die Fäden entstehen auf der Lamina und haben ausgesprochenen Rhizoidcharakter. Die Hüllblätter, wo auch

Digitized by Google

nach Correns keine Initialen vorkommen, habe ich dann auch unter keinen Bedingungen zum Auswachsen bringen können.

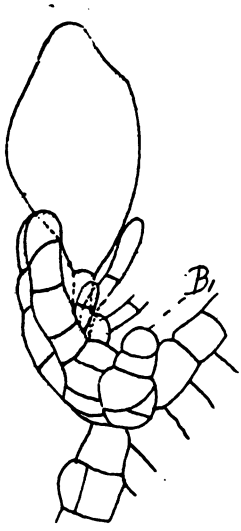


Fig. 41. Junge Knospe am Rande eines jungen Blattes von *Oedipodium*. Die Knospe hat ein gutes Blatt und weiter einige Schleimhaare und Brutkörper gebildet. Das zweite Blatt B_1 ist nur als kurzer Zellfaden entwickelt. Ein Protonemablatt ist bei der Knospenbildung nicht eingeschaltet.

Anschliessend möchte ich noch einige mit *Oedipodium* gemachte Regenerationsversuche mitteilen. Viele Moose haben die Fähigkeit unter Wasser kultiviert, Protonema zu bilden. In keinem Falle war *Oedipodium* dazuzu bewegen, ob man die ganze Pflanze oder abgeschnittene Blätter in Lösungen brachte, immer, nur mit einer Ausnahme, war das Resultat negatif. Um so mehr befremdend ist dies weil die Blätter gerade eine sehr grosse Regenerationsfähigkeit besitzen. Es kommt öfters vor, dass man auf den grossen, dem Substrat anliegenden unteren Blättern, meistens im oberen Teil, junge Pflänzchen findet, die meistens schon sehr früh zur Brutkörperbildung schreiten. In vielen Fällen ist durch Absterben des unteren Blatteils die direkte Verbindung zwischen Blatt und Stämmchen unterbrochen, in vielen Fällen jedoch war das ganze Blatt noch frisch. Wenn man nun diese grossen Blätter abschneidet und auf Sand weiter kultiviert, entsteht nach einigen Wochen vorzüglich auf den äusseren Teilen, aber fast nie aus den Randzellen eine oft sehr grosse Zahl dieser jungen Pflanzen. Immer entsteht aus einer Zelle des alten Blattes ein Protonemablatt-ähnliches Gebilde und an diesem dann die junge Knospe. Eigentümlich ist, dass sonst, wie früher mitgeteilt, die

Digitized by Google

Knospen nie aus dem unteren Teil der Protonemablätter entstehen, hier ist es aber wohl der Fall. Die Knospen

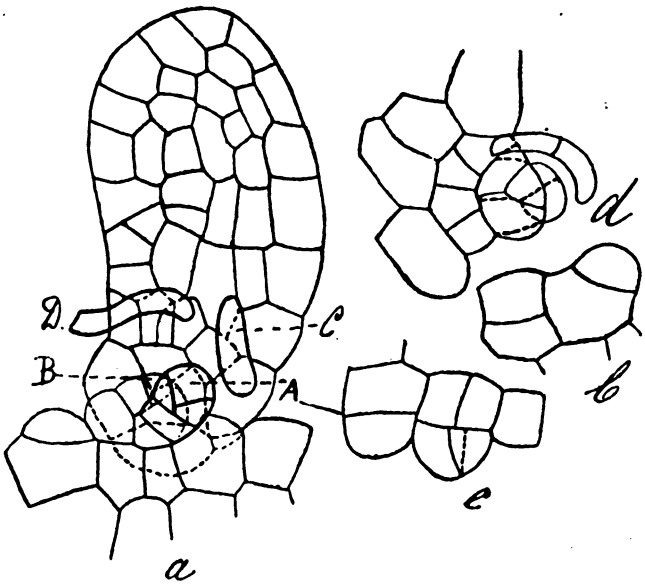


Fig. 42. *a.* Miniaturpflanze am Rande eines jungen Blattes von *Oedipodium*. *A.* das zweite als Zellfaden entwickelte Blatt. *B.* die Stammscheitelzelle, welche 3 Segm. gebildet hat von welchen das erste ein gut entwickeltes Blatt gebildet hat. *C.* Schleimhaar. *D.* Brutkörperstiel.
b, c, d. Verschiedene Entwicklungsstadien der Stammscheitelzelle.

entstehen immer aus dem inneren, d. h. dem ursprünglich dem Stämmchen zugekehrten Teil der Blätter. Aus dem äusseren Teil entstehen besonders den Stellen gegenüber, wo die Knospen gebildet werden, massenhaft Rhizoiden. Bemerkt muss noch werden, dass die Knospen alle im oberen Teil der grossen Blätter entstehen.

Auch auf den Protonemablättern und auf ganz jungen Blättern entstehen, wenn man diese auf Sand legt, junge Knospen. Auffallend ist dabei, dass dann die Knospen

Digitized by Google

auch aus den Randzellen gebildet werden und dass direkt die Stammscheitelzelle (Fig. 41) angelegt wird ohne dass

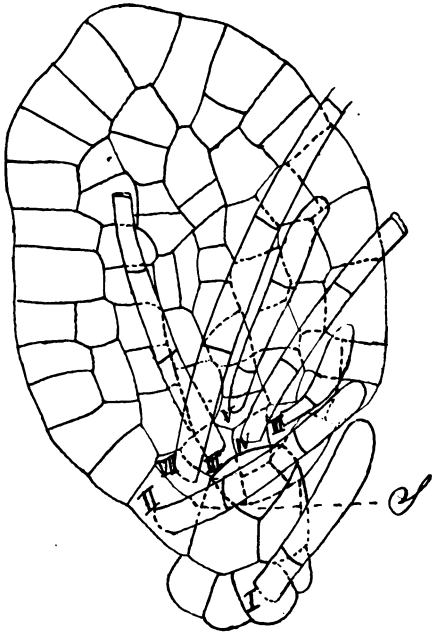


Fig. 43. Miniaturpflanze von *Oedipodium*. Die Stammscheitelzelle *S* had 3 Segm. gebildet, das eine ist wieder zum Blatt ausgewachsen. Auf dem unteren Teil dieses Blattes sind die Zellen 2—7 zu Brutkörpern oder Schleimhaaren ausgewachsen. Auch eine der unter der Stammanlage liegenden Zellen 1 hat ein Schleimhaar gebildet.

erst ein Protonemablatt gebildet wird. Hieraus geht also hervor, dass ursprünglich kein Unterschied zwischen Protonemablättern und gewöhnlichen existiert und dass erst später, wenn die Rippe etc. entwickelt ist, der Unterschied hervortritt so, dass die ganz alten Blätter nicht mehr im Stande sind direkt Knospen zu bilden, sondern dass da die Protonemablätter wieder eingeschaltet werden müssen.

Digitized by Google

Man kann auch noch ganz deutlich bemerken, dass bei den jungen und Protonemablättern die Knospen mehr über das ganze Blatt verteilt sind. Die jungen Anlagen, welche an den jungen Blättern gebildet werden, bringen es meistens nur bis zu Miniaturpflanzen. Allerdings ist dies bei den kleinen absolut nicht mit Reservestoffen versehenen Gebilden sehr gut zu begreifen, bei den grossen werden auch wohl im Anfang mehrere Knospen angelegt, aber bald kommt eine Knospe den anderen voraus und bleiben, wenn auch nicht alle, doch die meisten anderen in der Entwicklung zurück.

Die Miniaturpflanzen bestehen meistens aus der Stammscheitelzelle mit einigen, meist drei bis vier Segmenten. Aus dem ersten Segment hat sich dann ein meistens noch verhältnissmässig grosses Blatt gebildet, das fast in allen Hinsichten mit Protonemablättern (Fig. 42, vergl. auch 41 u. 43) übereinstimmt. Nur kann man sehen, dass der untere Teil wenigstens in der Mitte mehrschichtig ist. An den anderen Segmenten entstehen entweder rudimentäre oft nur aus einer Zellenreihe bestehende Blätter oder Schleimhaare. In der Achsel des einzigen entwickelten Blattes entstehen bald einige Brutkörper, die in sehr kurzer Zeit bis zur normalen Grösse weiterwachsen und Schleimhaare. Auch kann man hier sehr gut sehen (Fig. 43) wie diese beiden aus dem unteren mehrschichtigen Blatteil entstehen. Aus den Zellen 2,7,6 entstehen Schleimhaare, auch aus einer der unter der Stammanlage gelegenen Zellen, aus den anderen Brutkörper. Die Brutkörper sind hier meistens nur in kleiner Zahl anwesend, die da sind, sind aber von normaler, wenn selbst nicht von abnormaler Grösse. Es sieht aus, als ob das Stämmchen die Bildung von allen anderen Organen möglichst beschränkt, nur das zur Bildung einiger Brutkörper höchst Notwendige, eine Stammscheitelzelle mit einigen Segmenten und einem Blatte, wird ausgebildet.

Digitized by Google

Ähnliche Knospenbildung erwähnt Oehlmann [1]) auf den Blättern von *Sphagnum*. Hier werden die Knospen aber nur aus den Basalzellen gebildet. Immer aber wird genau so wie bei *Oedipodium* eine tuberkelartige Zellanhäufung gebildet.

Allerdings werden von den Sphagnumblättern auch Protonemafäden gebildet, während Bildung von Fäden mit Protonemacharakter nie als Regenerat bei *Oedipodium* beobachtet werden konnte. Wenn hier, überhaupt, mit Ausnahme des auch bei *Sphagnum* auftretenden kurzen Keimfadens, Fäden auftreten, haben sie immer Rhizoidcharakter. Noch ist eigentümlich, dass bei *Sphagnum*, wie aus Figur 46 bei Oehlmann hervorgeht, immer auch ein blattähnliches Protonema bei der Knospenbildung den Knospen vorangeht.

Wie schon gesagt, haben die abgelösten Blätter nur in einem Falle Neubildungen in Lösungen gemacht. Es waren ältere Blätter in Lösungen ohne Calcium. Unter 15 Blättern hatten hier fünf Knospen gebildet. Immer waren sie im oberen Teil gebildet und zwar meistens am Rande, ein Blatt hatte selbst neun junge Knospen.

Dass die Protonemablätter von *Georgia* und *Oedipodium* keine und die älteren Blätter von *Oedipodium* wohl Polarität zeigen, ist vielleicht mit der von Goebel erwähnten Tatsache in Verbindung zu bringen, dass *Blyttia Lyellii* an mit Mittelrippe versehenen Thallusstücken die Adventivsprosse nur am apicalen Ende der Mittelrippe trägt, während die von der Mittelrippe isolierten Thallusflügel eine regellose Anordnung der Adventivsprosse zeigen. Früher hatte Goebel [2]) auch bei *Fegatella conica* beschrieben, dass Stücke ohne Mittelrippe einen Gegensatz zwischen Spitze und Basis nicht zeigten, dass Stücke, die von Spros-

---

1) Oehlmann, Vegetative Fortpflanzung der Sphagnaceen.

2) Goebel. Ueber Regeneration im Pflanzenreich. Biol. Centralbl. 1902, p. 499.

Digitized by Google

sen stammten, welche längs der Mittelrippe gespalten waren, öfters längs der Wundfläche Adventivsprossen bildeten, was Goebel dem Wundreiz zuschreibt, aber dass hier schon die Bevorzugung des Apicalendes deutlich war. Hat man Stücke mit Mittelrippe, so erfolgt die Regeneration an der Spitze. Auch Bolleter[1]) konnte bemerken, dass ein grosser Unterschied auftrat; wenn er Stücke nahm ohne Mittelrippe, dann traten die Adventivsprosse regellos auf. Sicher ist also, dass die Mittelrippe einen grossen Einfluss hat auf die Anordnung der Neubildungen.

AULACOMNIUM ANDROGYNUM.

Die Brutkörper dieses Mooses sind schon vielmals Gegenstand von Untersuchungen gewesen. Sie stehen hier in einem Köpfchen zusammen, das ohne Hülle an der Spitze eines blattlosen Pseudopodiums steht. An diesem entlang stehen oft vereinzelt Brutkörper und die später zu erwähnenden abnormalen Gebilde. Die Brutkörper sitzen an langen, meist zweizelligen Stielen. Sie sind regelmässig gebaut, vierstöckig und bestehen, normal ausgebildet, aus zehn Zellen, einer einzelnen, das untere Stockwerk bildenden, der Hypophyse, zweimal je vier neben einander liegenden Zellen, und einer Spitzenzelle als obere. Die reifen Körper haben bräunliche dicke Wände, die Endzelle ist gewöhnlich noch dickwandiger. Als Initialen bei der Keimung beschreibt Correns die Zellen der beiden mittleren Stockwerke, jedoch sind nie alle so ausgebildet. Besonders deutlich kennbar sind sie an den kreisrunden Keimstücken. Die Hypophyse hat in Gegensatz zu den übrigen Zellen wenige Chlorophyllkörner und wenig Oel. Von den beiden Stielzellen hat die obere farblose zarte Wände, diese wird bei der Ablösung zerrissen. Die untere Stielzelle ist länger und hat dickere Wände.

---

1) Bolleter. *Fegatella conica.* p. 66. (des Sep. Abdr.).

Digitized by Google

Die meist verschiedenen Auffassungen über die Natur dieser Brutkörper haben einander gefolgt. Einige Beispiele entnehme ich Grevillius. Hedwig [1]) deutete die Brutkörper als männliche Blüten; Meijen [2]) die Köpfchen als metamorphosierte Früchte und die Brutorgane selbst als Sporen; von mehreren anderen u. a. Schimper [3]) und Berggren [4]) wurden die Brutorgane als rudimentäre Blätter gedeutet, Correns [5]) in seiner ersten Arbeit hält sie für metamorphosierte Paraphysen, Grevillius selbst [6]) betrachtet sie als umgewandelte Laubblätter. Spätere Auffassungen waren: Goebel [7]) sieht in ihnen Protonemabildungen, die sich zu Zellkörpern entwickelt haben und die unter Unterdrückung der Blattbildung an Sprossenden entstehen und endlich Correns [8]) betrachtet sie als metamorphosierte Blätter; ich muss hier direkt darauf hinweisen, dass Correns p. 221 sagt: die frühesten Stadien habe ich nicht zu Gesicht bekommen, er nimmt aber als sicher an, dass auf die letzten richtigen Blätter die Uebergangsblätter und die ersten Brutkörper ganz deutlich in derselben Spirale folgen, wenn auch vielleicht mit nicht ganz gleichbleibender Divergenz, dass also die ersten Brutkörper, wie Blätter, von je einem Segment der Scheitelzelle gebildet werden. Die grosse Mehrzahl jedoch lässt er nachträglich zwischen und unter den schon vorhandenen einge-

---

1) Hedwig. Species muscorum.

2) Neues System der Pflanzenphysiologie III p. 54.

3) Schimper. Bryologia europaea.

4) Berggren. Jaktagelser ofver mossornas könlösa fortplantning. Lund. Universitats Arsskrift I, Lund. 1865.

5) Vorläufige Uebersicht über die Vermehrung der Laubmoose durch Brutorgane. Ber. D. Bot. Ges. 1897, p. 374.

6) Ueber den morphologischen Werth der Brutorgane bei *Aulacomnium androgynum* (L) Schwaegr. Ber. D. Bot. Ges. XVI, p. 111.

7) Organographie p. 361.

8) Vermehrung der Laubmoose p. 216.

Digitized by Google

schoben werden. Wie er nun diese letzte Tatsache in Verbindung bringen kann mit dem Hervorgehen der Brutkörper jeder aus einem Segment, ist mir nicht ganz deutlich. Wenn die ersten Brutkörper je einem ganzen Blatte entsprechen, so sind doch sicher die später zwischen den anderen geschobenen von anderer Natur und man kann doch schwer annehmen, dass Gebilde, die in den beiden Fällen einander so gleich sind, an derselben Pflanze auf verschiedene Entstehungsweisen zurückzuführen sein würden.

Es ist mir nun gelungen die jüngsten Stadien zu sehen und auf Grund dieser kann ich die Auffassung von Correns nicht unterschreiben. Auf dem Querschnitt durch ganz junge Köpfchen kann man deutlich sehen, dass die Segmente ganz regelmässig angelegt werden. Sie wachsen aber nicht zu Blättern aus, sondern nachdem einige Teilungen stattgefunden haben, wachsen fast sämtliche Zellen zu Brutkörpern, so dass also nicht ein Brutkörper einem Blattsegment entspricht, sondern dass aus einem Segment mehrere entstehen. Die Scheitelzelle kann dabei auch zur Brutkörperbildung schreiten. Regel ist es aber nicht. Die Blattbildung wird dabei völlig unterdrückt, auch die Streckung des Stämmchens, weil die Brutkörper sowohl aus dem Stamm- als aus dem Blatteil der Segmente entstehen. Die Segmente werden so zu sagen in Protonemafäden aufgelöst und jeder von diesen bildet auf die bekannte von C. Müller [1]) ausführlich geschilderte Weise einen Brutkörper. Tatsache ist, dass viele Brutkörper erst später nachgeschoben werden. Dies kann man auch gut erklären, weil in der Regel als Anfang aus jedem Segment 4 Brutkörper entstehen, die der übrigen Segmentzellen werden nachgeschoben.

Wie muss mann nun aber die verschiedenen abnormalen Gebilde betrachten, welche als Hauptargument für die

1) C. Müller (Berlin). Über die Entwicklung der Brutkörper von *Aulacomnium androgynum*. Ber. D. Bot. Ges. XV. 1897.

Digitized by Google

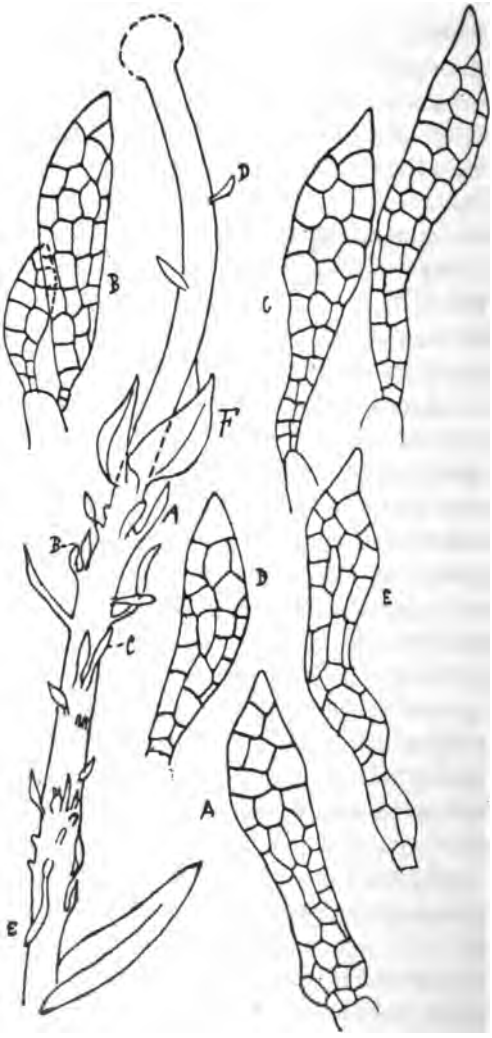


Fig. 44. *Aulacomnium androgynum.* Eine Pflanze von der das Pseudopodium ausser dem Köpfchen noch mehrere abnormale Gebilde, die sogenannten Übergangsbildungen, trägt. Bei *F* sind wieder 3 gewöhnliche Blätter entwickelt. In den Fig. *A—E* sind verschiedene dieser Gebilde vergrössert dargestellt.

Digitized by Google

direkte Blattnatur angeführt werden. Bevor ich diese Frage beantworte, möchte ich einige der interessanten abweichenden Gebilde beschreiben.

Ich habe viele durchwachsene Köpfchen oder solche mit normalen und abnormalen Brutkörpern am Pseudopodium gefunden.

Man kann in der Anordnung dieser Gebilde keine richtige Blattspirale mehr unterscheiden, was bei der grossen Streckung, die hier die Internodien haben, nicht wunder zu nehmen ist. Auch kann man oft sehen, dass das Pseudopodium gedreht ist, so dass auch dadurch die ursprüngliche Anordnung verwischt sein kann. Interessant ist, dass es öfters vorkommt, dass hier eine Anzahl Übergänge auftreten (Fig. 44) und dann auf einmal einige gewöhnliche Blätter, meistens drei oder das Vielfach von drei, welche wieder auf die normale Weise inseriert sind, und darauf folgend wieder Fortsetzung der mit abnormen Brutkörpern versehenen Pseudopodien. Dann folgen meistens Verzweigungen an welchen die Brutkörper auch sehr unregelmässig verteilt sind. In einem Falle habe ich sogar gefunden, dass eine Verzweigung in einer Anzahl Rhizoiden endigte. Nun habe ich öfters einige (2—3) Brutkörper (Fig. 45) neben einander auf einem kleinen Zellhöcker am Pseudopodium gefunden, auch fand ich einige Male, und gerade diese Fälle scheinen mir ganz wichtig, dass auf solchen Höckern sich ein halb ausgebildetes Blatt befand, der eine Rand wurde von dem Mittelnerv ge-

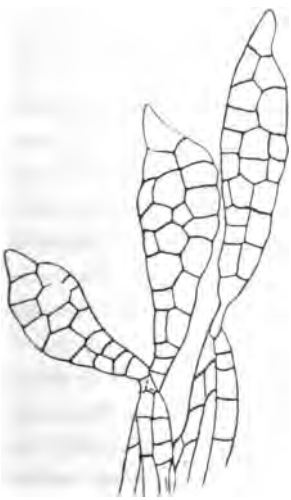


Fig. 45. ***Aulacomnium androgynum.*** **3 Brutkörper auf gemeinschaftlichem Fuss.**

Digitized by Google

bildet, daneben stand dann auf demselben Höcker ein Brutkörper. Deutlich ist es, dass hier nur die halbe Blattanlage als Blatt sich entwickelt hat und die andere Hälfte zur Brutkörperbildung geschritten ist. In den Fällen, wo mehrere Brutkörper zusammen auf einem Höcker stehen, hat man in diesem Höcker eine anfänglich auswachsende Blattanlage zu sehen, nach kurzer Zeit aber ist die Brutkörperbildung doch eingetreten.

Wie bekannt werden die Brutkörper gebildet aus einer Zelle, diese wächst aus und teilt sich zunächst in Stiel- und obere Zelle. Die Stielzelle teilt sich meistens noch durch eine Querwand. Meistens wird in der oberen Zelle erst noch durch eine Querwand die Hypophyse abgetrennt dann wird durch zwei geneigte Wände eine zweischneidige Scheitelzelle angelegt. Was ist nun einfacher als anzunehmen, dass diese Stielzellen, die doch schliesslich als die Segmente einer einschneidigen Scheitelzelle aufzufassen sind, die Fähigkeit sich durch Längswände zu teilen nicht ganz verloren haben und dass so die so oft vorkommende Verbreiterung des Stieles ins Leben gerufen wird. Wenn dann die zwelschneidige Scheitelzelle weiter ihre Teilungen fortsetzt und nicht nach der Abgabe von vier Segmenten, wie gewöhnlich, aber nicht immer der Fall ist, ihre Tätigkeit einstellt, entsteht ein normal aussehender, aber nur grösserer Brutkörper auf einem aus mehreren Zellreihen bestehendem Stiele. Vereinzelt konnte ich auch beobachten, dass der Stiel sich selbst bis zu einem Zellkörper entwickelt hatte.

Nun ist weiter der gewöhnliche Fall, dass nur 2 Stielzellen gebildet werden. Dies ist aber schon bei den normalen Köpfchen, wie ich öfters Gelegenheit hatte zu beobachten, nicht immer Regel. Auch hier kommen selbst schon vierzellige Stiele vor. So kann man also gut erklären, wie diese in der Breite mehrzellreihigen Stiele aus mehr als zwei Zellreihen in der Länge bestehen können.

Digitized by Google

Noch bleibt mir übrig diejenigen Missbildungen zu erklären, die lang und schmal sind und in deren Mitte man einige Reihen langgestreckter Zellen findet, welche grosse Aehnlichkeit mit den Blattnerven haben. Meistens stehen diese auch mit Brutkörpern auf Höckern zusammen. Diese fasse ich auch auf als teilweise entwickelte Blattanlagen. Die Rippe wird bekanntlich schon ziemlich früh angelegt; da es vorkommt, wie ich auch auf dem Querschnitt durch junge Köpfchen sehen konnte, dass ein Blatt schon ziemlich weit entwickelt ist, bevor es zur Brutkörperbildung übergeht, und, dass wenn diese eintritt, die Brutkörper immer aus den Seitenflügeln des Blattes entstehen, so kann man auch diese Missbildungen gut erklären.

Nun giebt es noch eine Schwierigkeit. Von Grevillius wird ein sonst normales Blatt abgebildet, das aber nahe der Spitze eine stielartige Einschnürung hat. Solche Blätter habe ich auch öfters gesehen. Auch kann man dabei beobachten, dass vielmals die oberen Zellen auch mehr verdickte Wände haben. Grevillius erklärt es dadurch, dass das Blatt im Anfange eine brutkörper-artige Entwicklung angestrebt hat, aber später in die Laubblattform zurückgekehrt ist. Diese Erklärung passt einigermassen modifiziert, auch in meine Auffassung. An der jungen Blattanlage hat sich aus einer der mittleren Zellen der Anfang eines Brutkörpers gebildet. Die weitere Blattanlage hat sich aber wieder als Blatt entwickelt und diese Brutkörperanlage, bei welcher es nicht zur normalen Entwicklung gekommen ist, wurde dann von dem weiteren Blatte einfach emporgehoben.

Als Resultat dieser Betrachtungen glaube ich wohl berechtigt zu sein, wenn ich auch die Brutkörper von *Aulacomnium androgynum* ursprünglich auf Protonemafäden zurückführe und zwar in allererster Stelle auf blattbürtige, die später auftretenden, die zwischen den anderen geschoben werden, kann man auf stammbürtiges Protonema

Digitized by Google

zurückführen. Im Grunde ist es aber ziemlich gleich, ob man von stammbürtigem oder blattbürtigem Protonema redet. Die ersten Brutkörper werden schon öfters angelegt zu einer Zeit, da man von einer eigentlichen Differenzierung zwischen Stamm und Blatt noch nicht reden kann.

Correns erwähnt noch auf Seite 224 einen Einwand gegen seine Auffassung der Brutkörper als metamorphosierte Blätter, der von Grevillius stammt. Wenn, so sagt er, aus einem Laubblatt ein Brutblatt werden soll, muss es die Fähigkeit besitzen, abgelöst Protonema zu bilden; alles andere kann nachträglich erworben sein, nur diese Eigenschaft muss schon in dem Blatt gesteckt haben. Nun giebt Grevillius an, dass die abgelösten Laubblätter „immer steril bleiben". Dieser Einwand würde selbstverständlich auch teilweise gegen meine Erklärung gelten. Correns erklärt nun die Sache so, dass er annimmt, dass die „Brutblätter" sich nicht von den jetzigen Laubblättern, sondern von einer Urform der Laubblätter her entwickelt haben, deren Zellen z. T. befähigt waren Protonema zu bilden. Die „Brutblätter" haben dann diese Fähigkeit behalten, die Laubblätter seitdem verloren. Tatsache ist nun, dass die Laubblätter nicht leicht zur Protonemabildung zu bringen sind, jedoch ist es mir verschiedene Male, besonders in Lösungen ohne Calcium, gelungen sie dazu zu veranlassen. Diese Fäden entstanden dann meistens nicht aus dem Rande, sondern aus den Laminazellen und hatten ausgesprochenen Rhizoidcharakter.

Wenn man Pseudopodien an beiden Seiten abschneidet und mit dem unteren Teil in Sand steckt, so wachsen unten sehr viele Rhizoiden aus, im oberen Teil jedoch Protonemafäden. Obgleich besonders bei Kulturen unter Wasser die Fäden oft über der ganzen Länge auswachsen, kann man doch immer eine gewisse Polarität bemerken in dem Sinne, dass die Rhizoiden immer auf dem unteren Teil beschränkt sind, die Protonemafäden können unter

Digitized by Google

Umständen auch zwischen den Rhizoiden vorkommen. Es kommt dabei vor, dass jede der Längsreihen, aus welchen die Aussenseite des Pseudopodiums besteht, in einen Protonemafaden auswächst (Fig. 46). Die Zellen des inneren Gewebes nehmen offenbar an dieser Protonemabildung nicht Teil. Ein ähnliches Auswachsen der Längsreihen erwähnt Oehlmann bei *Sphagnum*, hier sind es überlängs durchgeschnittene Stämmchen, wo die verschiedenen Längsreihen, auch die inneren, zu Fäden auswachsen.

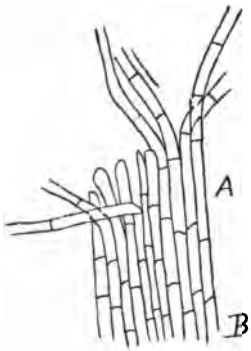


Fig. 46. *Aulacomnium androgynum*. Regeneration der Pseudopodien (bei A ist das Brutkörperköpfchen abgeschnitten). Jede der Zellreihen der Aussenwand ist zu einem Protonemafaden ausgewachsen.

An den Rhizoiden entstehen auch in diesen Kulturen mehrmals Stammknospen. Oft sind dann die Rhizoiden so kurz, dass es aussieht, als sitzen die jungen Knospen direct auf dem Pseudopodium und das Ganze macht den Eindruck von Verzweigungen. In den Wasserkulturen konnte ich mehrmals beobachten, wie eine Knospe wohl angelegt wurde, aber nach einigen Teilungen wieder als Protonemafaden weiterwuchs.

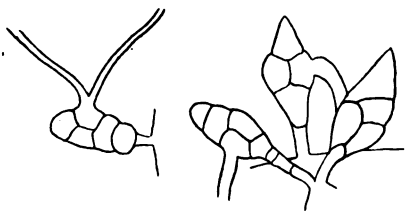


Fig. 47. *Aulacomnium androgynum*. Brutkörper, die am Pseudopodium festsitzend ausgewachsen sind. Die Pseudopodien waren oben und unten abgeschnitten und unter Wasser in Sand gesteckt.

Wenn man bei diesen Versuchen Pseudopodien nimmt, auf welchen hier und da zerstreut Brutkörper sich finden, (Fig. 47) so kann man leicht sehen dass auch sonst vollkommen normale Brutkörper noch festsitzend auswachsen, auch

Digitized by Google

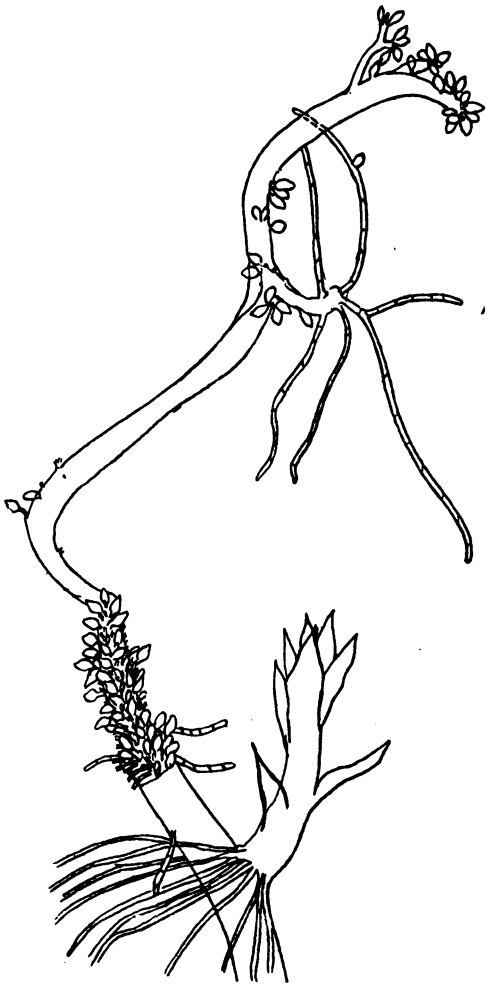


Fig. 48. *Aulacomnium androgynum.* Ein mit seinem Köpfchen versehenes Pseudopodium unten abgeschnitten und in Sand eingesteckt. Das Köpfchen ist durchgewachsen. Für weitere Beschreibung siehe im Text.

kommt es in Wasserkulturen sehr viel vor, dass frühzeitig

Digitized by Google

abgelöste Körper, bei denen nur 2 Segmente aus der Scheitelzelle gebildet sind und wo dann auch die Längswände noch nicht gebildet sind, so dass der ganze Brut-Körper aus drei Zellen besteht, schon auswachsen können. Ein Auswachsen der Spitsenzelle habe ich auch hier nie beobachten können.

Bei Kulturen von Pseudopodien, welche ohne dass das Köpfchen abgeschnitten war in Sand eingesteckt waren, fand ich mehrmals Durchwachsungen. Der beste Fall ist hierneben abgebildet, den werde ich auch noch kurz beschreiben. Das ursprüngliche Köpfchen war länglich ausgewachsen, die Wände der Epidermis aber bräunlich geworden. Man hat hier (Fig. 48) also zu gleicher Zeit ein sehr schönes Beispiel dafür, dass nicht immer die Scheitelzelle bei der Brutkörperbildung aufgebraucht wird. Auf diesem Teil folgte ein gekrümmter, mit einigen zerstreuten Brutkörpern versehener Teil. Dann kam die erste Verzweigung. An der Stelle fanden sich mehrere im Allgemeinen normal ausgebildete Brutkörper. Der eine Zweig setzte sich als Pseudopodium fort und bildete später noch eine Anzahl Verzweigungen, die an den Spitzen meist entfernte Brutkörper tragen. Der andere Zweig aber wurde aufgelöst in eine Anzahl Rhizoiden, an einem dieser wurde schon wieder ein Protonemafaden mit geraden Wänden und viel Chlorophyll gebildet.

Aus den hier angeführten Tatsachen geht also deutlich hervor, dass die Pseudopodien von *Aulacomnium*, denen bisher von verschiedenen Seiten eine Regenerationsfähigkeit abgesprochen worden war, gerade zum Regenerieren äusserst leicht zu bringen sind.

ZUSAMMENFASSUNG.

Oedipodium Griffithianum Schw.

Bei der Keimung der Sporen entsteht ein kurzer Zell-

Digitized by Google

faden, der bald in eine Zellfläche übergeht, die entweder überhaupt nicht oder nur während einiger Zeit mit einer zweischneidigen Scheitelzelle wächst. Die Entstehung und Entwicklung ist im Allgemeinen wie bei *Sphagnum* und nicht wie bei *Georgia*, *Tetradontium* und *Diphyscium*.

Diese Zellflächen, die sogenannten Protonemablätter bilden entweder einfache, oder gelappte und verzweigte, zungenförmige Gebilde. Auf den primären Protonemablättern können sekundäre und auf diesen wieder tertiäre aufsitzen. Die Knospen entstehen aus einer Randzelle und zwar nie im unteren, sondern immer im mittleren und oberen Teil der Protonemablätter.

Die Protonemablätter wachsen ursprünglich mit zweischneidiger Scheitelzelle, früher oder später wird diese durch Anti- und Periklinen aufgeteilt und Randwachstum tritt an die Stelle. Ebenfalls Randwachstum haben, bei den *Splachnaceen*, die Blätter von *Tayloria Dubyi* und *Splachnobryum aquaticum*. Man findet alle möglichen Uebergänge zwischen den gewöhnlichen und den Protonemablättern, die vollständig ausgebildeten sind durch den Besitz einer Rippe und durch verdickte Zellecken im oberen Teil gekennzeichnet. Die Rippe besteht aus einem Gewebe aus gleichförmigen dünnwandigen Zellen, durch nachträgliche Teilungen der Laminazellen kann sie stark verbreitert werden.

Bei *Oedipodium* kommen auch besonders zwischen den jungen Blättern und den Brutkörpern Schleimhaare vor; diese Schleimhaare sind homolog mit den Paraphysen, auch die sogenannten Keulenhaare sind ursprünglich mit den Schleimhaaren gleich zu stellen.

In jungen Stämmchen findet man keinen Zentralstrang, in älteren, besonders in den die Geschlechtsorgane tragenden, einen gut differenzierten.

Die Seta ist fast fehlend, der Hals sehr lang. Auf dem Halse viele Stomata, auch rudimentäre, besonders im unteren Teil. Das schwammige Gewebe im Halse ist ausgezeichnet

Digitized by Google

entwickelt. Von den mit *Oedipodium* verwandten Arten kann nur *Tayloria Dubyi* einigermassen ein solches Schwammgewebe aufweisen.

Die Brutkörper haben in der Regel zwei, ausnahmsweise drei als Scheitelzellen ausgebildete Initialen. Diese wachsen nicht zu Protonemafäden sondern zu Flächen aus, aus welchen dann mit den aus Sporen entstandenen gleichförmige Protonemablätter entstehen. Auch können die Scheitelzellen ihre Arbeit einstellen und können neue solche Protonemablätter entstehen, entweder aus Zellen des alten aus der Initiale hervorgegangenen Auswuchses oder aus daneben liegenden Zellen des Brutkörpers.

Sie stehen in den Blattachseln zusammen mit Schleimhaaren, auch gehen sie auf den Blattgrund hinauf.

Stützend auf den Tatsachen, dass die Fäden, aus welchen die Brutkörper gebildet werden, und die Haare der Anlage nach ganz gleich sind und dass sie ganz durch einander gebildet werden, fasse ich die Brutkörper und die Schleimhaare auf als homologe Gebilde. Beide sind auf, der Hauptsache nach, stammbürtiges Protonema zurück zu führen. Wenn die Brutkörper in einem Becher stehen, werden nach innen zu, die Blätter mehr und mehr reduziert, in der Mitte kann man dann beobachten, wie die ganzen Segmente zur Bildung der Brutkörper und Schleimhaare aufgeteilt werden, so dass dann der Unterschied zwischen Stamm und blattbürtigen Gebilden ganz verwischt ist.

Georgia pellucida Rab.

Die Brutkörper sind durch das direkte Auftreten einer zweischneidigen Scheitelzelle von denen von *Oedipodium*, wo in der Regel Quadrantenbildung statt findet, unterschieden. Im übrigen sind sie auch hier, wie die Schleimhaare auf Protonemafäden mit beschränktem Wachstum zurück zu führen. Auch die sogenannten Mittelbildungen sind keine metamorphosierte Blätter, sondern lassen sich gleichfalls von Protonemabildungen ableiten. Auf dem Quer-

Digitized by Google

schnitt durch junge Becher kann man auch hier sehen, wie in der Mitte die Blattanlagen mehr und mehr reduziert werden und wie die jüngsten Segmente ganz zur Bildung von Brutkörpern und Schleimhaaren aufgeteilt werden. Die Scheitelzelle kann aber, wie die Durchwachsungen zeigen, unter Umständen erhalten bleiben.

Die Protonemablätter entstehen hier meistens als seitliche Anhängsgebilde, ab und zu aber gehen sie auch aus der Spitze der Fäden hervor. Sie zeigen eine grosse Regenerationsfähigkeit. Dabei werden Adventivflächen erzeugt, die wieder zu Protonemablättern auswachsen und auch Knospen, diese Knospen ohne dass vorher ein sekundäres Protonemablatt gebildet wird. Diese und die Protonemablätter und die jungen noch rippenlosen Blätter von *Oedipodium* zeigen keine Polarität, während die älteren mit Rippen versehenen Blätter von *Oedipodium* eine gewisse Polarität zeigen. Bei *Oedipodium* entstehen nur Knospen, die bei den Protonemablättern und jungen Blättern nicht, bei den alten Blättern wohl von einem sekundären Protonemablatte vorangegangen werden.

Aulacomnium androgynum Schw.

Auf dem Querschnitt durch junge Knospen sieht man, dass erst aus dem Blatteile der Segmente, in den meisten Fällen vier Brutkörper entstehen. Die später auftretenden zwischen den anderen geschoben werdenden Brutkörper entstehen zum grössten Teil aus dem Stammteil der Segmente. Hier sind also auch die Brutkörper auf Protonemafäden zurück zu führen und zwar ist es hier sehr deutlich, dass zwischen blatt- und stammbürtigem Protonema kein prinzipieller Unterschied besteht. Auch hier werden die jüngsten Segmente ganz aufgebraucht und kann die Scheitelzelle, wie die Durchwachsungen zeigen, erhalten bleiben oder nicht.

Auch die Mittelbildungen lassen sich mit dieser Auffassung sehr gut erklären.

Digitized by Google

Die Pseudopodien haben eine grosse Regenerationsfähigkeit und zeigen dabei Polarität, unten entstehen Rhizoiden, oben Chloronemafäden. Auch die Blätter können unter bestimmten Verhältnissen zu Protonemabildung veranlast werden.

Neben diesen drei auf Protonemabildung zurück zu führenden Brutkörperbildungen kann ich auch die bei *Tayloria Moritziana* und den *Splachnobryum*-Arten beschriebenen darauf zurückführen.

Digitized by Google

LITERATUR.

1. ÅNGSTROM. Dispositio muscorum in Scandinavia hucusque cognitorum. Upsaliae 1842.
2. BERGGREN. Om proembryots Utveckling och bygnad hos slägtena Diphyscium och Oedipodium. Botaniska Notiser 1873.
3. id. Studier öfver mossornas bygnad och utveckling. II Tetraphideae. Lunds Univ. Arsskrift 1870.
4. id. Jaktagelser öfver mossornas könlosa fortplantning. Lunds Univ. Arsskrift 1864.
5. BOLLETER. Fegatella conica. Beihefte z. Botan. Centralblatt. Bd. XVIII. 1905.
6. BRIDEL. Muscologia recentiorum omnium muscorum frondosorum hucusque cognitor. Gothae 1797—1822.
7. BROTHERUS. Moose in den Natürlichen Pflanzenfamilien.
8. CORRENS. Ueber die Brutkörper der Georgia pellucida und der Laubmoose überhaupt. Ber. der Deutschen Bot. Ges. Bd. XIII. p. 420.
9. id. Vorlaüfige Uebersicht über die Vermehrung der Laubmoose durch Brutorgane. Ber. D. Bot. Ges. 1897 p. 374.
10. id. Untersuchungen über die Vermehrung der Laubmoose durch Brutorgane und Stecklinge. Jena 1899.
11. DICKSON. Fasciculi (IV) plantarum cryptogamicarum Britanniae. London 1785—1801.
12. GOEBEL. Organographie der Pflanzen.
13. id. Ueber die Jugendzustände der Pflanzen. Flora Bd. 72.

Digitized by Google

14. Goebel. Entwicklungsgeschichte der Prothallien von Gymnogramme leptophylla Dev. Bot. Zeitung 1877. p. 684.

15. id. Archegoniatenstudien. Flora Bd 76. p. 98.

16. id. Morphologische und biologische Studien. Annales du Jardin de Buitenzorg. VII. p. 69.

17. id. Ueber Jugendformen der Pflanzen. Sitzungsber. der mathem., physik. Klasse der K. Bayer. Akad. d. Wiss. XXVI. p. 464.

18. id. Ueber Regeneration im Pflanzenreich. Biol. Centralblatt 1902.

19. id. Allgemeine Regenerationsprobleme. Flora. Erg. Band 1905. p. 408.

20. id. Archegoniaten Studien X. Beiträge zur Kenntniss australischer und neuseeländischer Bryophyten. Flora 1906.

21. Grevillius. Ueber den morphologischen Wert der Brutorgane bei Aulacomnium androgynum (L) Schwaegr. Ber. Deutschen Bot. Ges. XVI p. 111.

22. Haberlandt. Beiträge zur Physiologie und Anatomie der Laubmoose. Pringsheim's Jahrb. 1886.

23. Hedwig. Species muscorum frondosorum. Opus postumum. Suppl. II. Leipzig 1823.

24. Hooker et Taylor. Muscologia britannica. London 1818.

25. Leitgeb. Wachstum und Entwicklung der Antheridien bei *Sphagnum*. Sitz. ber. der Akad. Wiss. Wien. Mathem. naturw. Klasse Bd. LVIII (I) 1868. p. 525.

26. id. Die Antheridienstände der Laubmoose. Flora 1882.

27. Limpricht. Laubmoose in Rabenhorst's Kryptogamenflora.

28. Lindberg. Utkast till en naturlig Gruppering af Europas Bladmosser med opstelled Frugt. Helsingfors 1878.

20. Lorentz. Studien zur vergleichenden Anatomie der Laubmoose. Flora 1867.

Digitized by Google

30. MEYEN. Neues System der Pflanzenphysiologie, III.
31. MIGULA. Laubmoose in Thomé's Flora von Deutschland.
32. MÜLLER (C). (Berlin). Ueber die Entwicklung der Brutkörper von *Aulacomnium androgynum.* Ber. D. Bot. Ges. XV. 1897.
33. MÜLLER (C). (Halle). Genera muscorum.
34. NYMAN. Om bygnaden och utvecklingen af Oedipodium Griffithianum. Akad. Afhandling Upsala 1896.
35. OEHLMANN. Vegetative Fortpflanzung der *Sphagnaceen* nebst ihrem Verhalten gegen Kalk. Inaugur. Diss. Freiburg (Schweiz). Braunschweig. Vieweg u. Sohn. 1898.
36. OLTMANNS. Ueber die Wasserbewegung in der Moospflanze. Cohn's Beiträge zur Biologie der Pflanzen. Bd. IV. Heft I.
37. ROTH. Die Europäischen Laubmoose. Bd. I.
38. RUTHE. Zwei neue europäische Arten der Laubmoosgattung Fissidens und über Fissidens bryoides var. gymnandrus. Hedwigia 1870. p. 177.
39. SCHIMPER. Synopsis muscorum. Ed. I und II.
40. id. Recherches morph. et anat. sur les mousses. Strassbourg 1848.
41. id. Bryologia europaea. Bd. III.
42. SMITH and SOWERBY. The English Flora. London 1824—36.
43. VALENTINE. Supplementary observations on the Development of the Theca. Transactions of the Linnean Society. London. XVIII. 1841.
44. VAUPPEL. Beiträge zur Kenntniss einiger Bryophyten. Flora Bd. 92 p. 346.
45. VELENOVSKY. Vergleichende Morphologie der Pflanzen I.

Digitized by Google

On the influence of the nectaries and other sugarcontaining tissues in the flower on the opening of the anthers

BY

DR. W. BURCK.

The consideration that the opening of the anthers is preceded by a very considerable loss of water [1]) and that with very many plants, e.g. *Compositae*, *Papilionaceae*, *Lobeliaceae*, *Antirrhineae*, *Rhinanthaceae*, *Fumariaceae* and further with all plants, chasmogamous as well as cleistogamous, which fertilise in the bud, this opening takes place within a closed flower and consequently cannot be caused by transpiration to the air, gave rise to the question whether perhaps the nectaries or other sugar-containing tissues in the flower, which do not secrete nectar outwardly, have influence on the withdrawal of water from the anthers.

My surmise that also among the plants whose anthers only burst after the opening of the flower, some would

1) This loss of water amounts e.g. with *Fritillaria imperialis* to 90°/₀ of the weight of the anthers, with *Ornithogalum umbellatum* to 86°/₀, with *Diervilla floribunda* to 87°/₀, with *Aesculus Hippocastanum* to 88°/₀, with *Pyrus japonica* to 80°/₀, with different cultivated tulips 59—68°/₀, etc. With plants whose anthers burst in the flower, the loss is smaller; the anthers and the pollen remain moist then. With *Oenothera Lamarckiana* the loss amounts to 41 °/₀, with *Canna hybrida grandiflora* to 56°/₀, with *Lathyrus latifolius* to 24°/₀.

Digitized by Google

be found in which this process is independent of the hygroscopic condition of the air, was found to be correct. If the flowers are placed under a glass bell-jar, the air in which is saturated with water-vapour, the anthers, of many plants burst at about the same time as those of flowers which are put outside the moist space in the open air.

This led me to arranging some experiments, yielding the following results:

1. If in a flower of *Diervilla* (*Weigelia*) *rosea* or *floribunda*, which is in progress of unfolding itself, one of the stamens is squeezed by means of a pair of pincers, so that the drainage of water from the stamen downwards is disturbed, the four anthers whose stamens have remained intact, spring open, but the fifth remains closed. With this plant it is not necessary to place the flower in a moist space; the same result is generally obtained if the flower remains attached to the plant.

If a flower is placed in the moist space together with the loose anthers of another flower, those which are attached to the flower spring open; the loose ones don't. If only the corolla with the stamens attached to it is placed in the moist space, the anthers open as well as those of the complete flower. Consequently the nectary which is found in the middle of the flower at the side of the ovary, exerts no direct influence on the bursting of the anthers. If further a stamen is prepared in its full length and placed in the moist space together with some loose anthers, the anthers of the stamen burst, whereas the loose anthers remain closed.

From these experiments we infer that the anthers open under the influence of the stamen whether or not connected with the corolla. Now an investigation with Fehling's solution shows that as well the stamen as the whole

Digitized by Google

corolla and even the corollar slips, show the well-known reaction, indicating glucose.

Of *Digitalis purpurea* two of the anthers of a flower in the moist chamber, were separated from the corolla by an incision. The uncut anthers burst open, but the other two remained closed. A stamen prepared free over its full length causes the anther to burst in the moist chamber; loose anthers, on the other hand, remain closed.

An investigation with Fehling's solution showed that here also the corolla contains glucose everywhere, but in especially large quantities where the stamens have coalesced with the corolla. Also the stamens are particularly rich in sugar over their entire length.

Of *Oenothera Lamarckiana*, the anthers of which burst already in the bud, a flower-bud was deprived of sepals and petals. One of the stamens was taken away from the flower in full length; of another stamen only the anther was removed. These three objects were placed together in the moist chamber. The anthers of the stamens which had remained connected with the tube of the calyx and those of the loose stamen sprang open; the loose anther, however, remained closed. An examination with Fehling's solution gave the same result as was found above with *Digitalis*.

Similar experiments were made with the flowers of *Antirrhinum majus* L., *Lamium album* L., *Glechoma hederacea* L., *Salvia argentea* L., *Nicotiana affinis* Hort. and *sylvestris* Comes., and *Symphytum officinale* L., which all gave the same results, while with the flowers of *Ajuga reptans* L., *Stachys sylvatica* L., *Scrophularia nodosa* L., *Cynoglossum officinale* L., *Anchusa officinalis* L., *Echium vulgare* L., *Calceolaria pinnata*, *Hibiscus esculentus*, *Anoda lavateroides*, *Malva vulgaris* Tr., *Torenia asiatica*, *Corydalis lutea* Dc., *Colchicum autumnale* L., *Lysimachia vulgaris* L., *Atropa Belladona* L., and *Rhinanthus major* Ehrh. the

Digitized by Google

experiments were restricted to showing that with all of them the anthers spring open in a space, saturated with water-vapour. With all these plants the corolla and stamens react very strongly with Fehling's solution.

These experiments indicate that the water is withdrawn from the anthers bij an osmotic action, having its origin in the glucose-containing tissue.

I remark here that the presence of glucose — in so far as we may infer it from the precipitate of cuprous oxide after treatment with Fehling's solution — in other parts of the corolla, is a *very common* phenomenon (to which I hope to return later) and that it is not restricted to those flowers in which stamens and corolla have coalesced. There is rather question here of a quantitative difference than of a special property, peculiar to these flowers.

2. With *Stellaria media* the epipetalons stamens are mostly abortive, while of the episepalous ones only three have remained, as a rule. These three stamens bear at the base on the outside, a gland, secreting nectar.

If a flower is placed in the moist chamber and one of the stamens is injured with the pincers, the anthers of the uninjured stamens will afterwards burst, but the other remains closed. And when loose anthers from the flower are placed in the moist chamber, together with an intact flower, the loose anthers remain closed, while the anthers of the flower open. As well the petals as the stamens precipitate cuprous oxide from FEHLING's solution; also the tissue at the base of the sepals reacts with it. But the bursting of the anthers stands in no relation to this; if the petals are removed, this has no influence on the result of the just mentioned experiment.

The experiment indicates that the water is withdrawn from the anthers by the osmotic action, proceeding from the nectary.

Digitized by Google

In this connection it deserves notice that the nectaries of the epipetalous whorl and also those of the missing stamens of the episepalous whorl are abortive together with the stamens. The same is observed with *Cerastium semidecandrum* L., *C. erectum* L. and *Holosteum umbellatum* L.; here also the nectaries of the missing stamens have disappeared as a rule.

With the *Papilionaceae*, of which I investigated *Lupinus luteus* L., *Lupinus grandifolius* L., *Lathyrus odoratus* L., *Lathyrus latifolius* L. and *Vicia Faba* L., the anthers are known to open already in the closed flower. The petals precipitate cuprous oxide from FEHLING's solution, but exert no influence on the opening of the anthers. Flower buds of *Lathyrus latifolius* and *Lathyrus odoratus* were deprived of their petals and placed in the moist chamber together with loose anthers. The loose anthers remained closed, but the others burst open.

In the same way as the flowers of *Stellaria media* and the mentioned *Papilionaceae*, behave with respect to the opening of the anthers in a space, saturated with water-vapour:

Stellaria Holostea L, *St. graminea* L., *Cerastium Biebersteinii*, C. *arvense* L., *Cochlearia danica* L., *Sisymbrium Alliaria Scop.*, *Crambe hispanica* L., *Bunias orientalis* L., *Capsella Bursa pastoris Mnch.*, *Hesperis violacea* L., *H. matronalis* L., *Thlaspi arvense* L., *Alyssum maritimum Lam.*, and further *Lychnis diurna Sibth.*, *Silene inflata* Sm. *Galium Mollugo* L., *Asperula ciliata Rochl.*, *Campanula media* L., *C. latifolia* L.

With all these plants the bursting of the anthers must, in my opinion, be ascribed to the influence of the nectaries.

With *Hesperis* two large nectaries are found at the inner side of the base of the two short stamens and between these and the four long stamens. If a flower of *Hesperis violacea* or *H. matronalis* L., after being deprived of its petals and sepals, is placed in the moist chamber, nearly

Digitized by Google

always the four long stamens only burst; the other two remain closed.

It has been repeatedly observed that the secretion of nectar begins as soon as the stamens open.

In connection with what was stated above, one would be inclined to infer from this that flow of water from the anther causes the secretion of nectar. If, however, with *Stellaria media*, the anthers are removed before they have discharged water to the nectaries, one finds all the same the nectaries amply provided with honey, when the flower opens. The same may be observed in the male flowers of *Aesculus Hippocastanum*. In the still nearly closed flower-bud the nectary is dry yet. When the flower continues to open, small drops of liquid are seen to appear on the surface of the nectary, still before the anthers extend halfway from the bud. These droplets increase in size as the anthers approach the moment in which they open. By weighing it may be proved that the anthers have already lost part of their original weight when the first droplets of nectar appear on the surface of the nectary. From this circumstance also one would be inclined to infer that the water of the anthers comes out again as nectar. When, however, from very young buds, whose nectary is not moist yet, the anthers are removed, yet at a later stage of development of the bud, secretion of nectar is found in them as in buds that have kept their anthers.

With *Fritillaria imperialis* I found the same; but here the secretion of nectar was not so abundant as in buds, the anthers of which had not been removed. In my opinion these observations indicate that the sugar, stored up in the nectaries or other sugar-containing tissues of the flower, at the moment when it begins to exert its osmotic action, attracts water not only from the anthers but also from other parts of its surroundings.

Digitized by Google

3. With the following plants the anthers remain closed in a space, saturated with water-vapour. In so far as they possess nectaries, these latter appeared to exert no influence on the bursting of the anthers.

Ranunculus acris L., *R. bulbosus* L., *Aquilegia vulgaris* L., *Clematis Vitalba* L., *Chelidonium majus* L., *Brassica oleracea* L., *Geranium molle* L., *G. Robertianum* L., *G. macrorhizum L.*, *Geum urbanum* L., *Rubus caesius* L., *Philadelphus coronarius* L., *Heracleum Sphondylium* L., *H. lanatum Michx*, *Aegopodium Podagraria Spr.*, *Carum Carvi* L., *Pimpinella magna* L., *Valeriana officinalis* L., *Ligustrum vulgare* L., *Majanthemum bifolium Dc.*, and *Iris Pseudacorus* L.

It is remarkable that *Brassica oleracea* L. forms an exception to what is otherwise generally observed with the Cruciferae; the position of the stamens with respect to the nectaries which secrete honey abundantly, would make us expect that in a moist chamber they would behave like the others. The same remark holds for the species of *Geranium.*

The secretion of nectar in the flower attracted the attention of various investigators many years before Sprengel published his view of the matter. Also after Sprengel, in the first half of the preceding century, it has many times been the object of investigation. All these investigators agreed in being convinced that, apart from the significance of the honey-secretion for the fertilisation of the flowers by the intervention of insects, to which Sprengel had drawn attention, the sugar-containing tissues and the secreted liquid were still in another respect useful to the plant.

After Darwin had in 1859 brought to the front again Sprengel's observations on the biological significance of the various properties of the flower — which observations were falling more and more into oblivion — and had accepted their consequences by bringing them into relation

Digitized by Google

on one hand with his conceptions about the necessity of cross-fertilisation for the maintenance of the vital energy of the species, on the other hand with the theory of natural selection, the investigation of still another significance of the nectaries for the plant was for a long period entirely abandoned.

Not until 1878 this subject was again broached by Bonnier [1]) who, in his extensive paper on the nectaries, in which as well the anatomical as the physiological side of the problem were submitted to a very extensive investigation, proved that sugar-containing tissues in the flower and especially in the inmediate vicinity of the ovary are not only found with plants which regulary secrete nectar during the flowering, but also with such plants as under normal conditions never secrete such a liquid. With these plants, which in the literature on flower-biology are called „pollen flowers", since the insects find no nectar in them, he found as well sugar-containing tissues as in the so-called „insects flowers". Even with anemophilous plants he found „nectaires sans nectar", e. g. with *Avena sativa*, *Triticum sativum* and *Hordeum murinum*. A number of plants which under ordinary conditions of life contain no nectar, he could induce to nectar-secretion by placing them under conditions favourable for this purpose.

At the end of his paper he reminds us that an accumulation of reserve materials, wherever a temporary stagnation in the development exists, may be considered a very general and well characterised phenomenon. When a plant stops its further development at the end of its growing period, it has stored up reserve material in its subterranean parts and when the seed has finished its development, it has accumulated nourishing substances in the

---

1) Gaston Bonnier. Les nectaires. Étude critique, anatomique et physiologique. Annales des sciences naturelles. Tome VIII. 1878.

Digitized by Google

endosperm or in the cotyledons of the embryo. These reserve materials, turned into assimilable compounds, then serve for the first nutrition of the newly formed parts.

He then arrives at the conclusion that in the vicinity of the ovary saccharose is stored up, and that this reserve substance after fertilisation and in the same proportion as the fruit develops, passes partly or entirely into the tissue of the fruit and into the seed, after having first been changed, under the influence of a soluble ferment, into assimilable compounds.

Investigation showed me also that the accumulation of saccharose as a reserve substance in the flower is a very common phenomenon. [1])

But besides the function, discovered by Bonnier and the significance of the secreted nectar for the fertilisation, it has become clear to me that as well the glucose, formed from saccharose, as the outwardly secreted nectar, are also in other respects of great importance to the plant. The observations, here communicated, point already to one very important function, i. e. *to enable the stamens to bring their pollen to the surface at the right time, independent of the hygroscopic condition of the air.*

I hope before long to be able to point out still another function.

The secretion of nectar now appears in another light. The view that it must be considered as an excretion of „a waste product of chemical changes in the sap" [2]), which

---

1) On this point see also: Paul Knuth, Ueber den Nachweis von Nektarien auf chemischem Wege. Bot. Centralbl. LXXVI. Bd. 1898, p. 76 and Rob. Stäger, chemischer Nachweis von Nektarien bei Pollenblumen und Anemophilen. Beihefte zum Bot. Centralbl. Band XII. 1901. p.34.

2) Ch. Darwin. Origin of species. Sixth Edition. 1872. Chap. IV, p. 73 and The effects of Cross and Selffertilisation. Edition 1876, Chap. X, p. 402.

Digitized by Google

in the course of time has become more marked through natural selection, as a useful adaptation for promoting cross-fertilisation, since this liquid was eagerly taken away by insects, has to give way to the conception that, preceding any adaptation, it has in its further development kept pace with the sexual organs.

Digitized by Google

Die Unzulänglichkeit der heutigen Klinostaten für reizphysiologische Untersuchungen

VON

PH. VAN HARREVELD.

Aus dem Botanischen Laboratorium der Universität Groningen.

EINLEITUNG.

Gelegentlich einer Untersuchung über die Perzeption des geotropischen Reizes in Pflanzen stellte es sich heraus, dass der von mir benutzte Klinostat nicht gleichmässig rotierte. Dieser Fehler erwies sich als so gross, dass die Resultate meiner Untersuchung, die im Jahre 1904 stattfand, ganz zweifelhaft wurden.

Ich versuchte deshalb, einen besseren Klinostaten aufzufinden. Als ich die Gleichmässigkeit der Rotation bei mehreren dieser Instrumente untersuchte, zeigten sie jedoch alle denselben Fehler, sei es in verschieden hohem Grade. Ausser dem Pfefferschen und dem Wortmannschen Klinostaten erwies sich auch ein Klinostat der von einem Elektromotor getrieben wurde als für meinen Zweck untauglich. Es blieb mir dadurch keine Hoffnung übrig, dass die sonst noch bestehenden Klinostaten genügendes leisten würden.

Da stand mir nur der Weg offen, einen neuen Klinostaten anzufertigen, nach anderen Prinzipien gebaut und die entdeckten Unvollkommenheiten nicht mehr zeigend.

Digitized by Google

Dieses Instrument steht jetzt fertig da, und es wird seine Konstruktion nach genügender Erprobung in nicht zu langer Zeit veröffentlicht werden. In der vorliegenden Abhandlung prüfte ich die heutigen Klinostaten hinsichtlich der Gleichmässigkeit ihrer Rotation. Auch wird darin untersucht, welche Hindernisse für die reizphysiologische Forschung aus den entdeckten Ungleichmässigkeiten resultieren. Es wird sich herausstellen, dass die Empfindlichkeit der Pflanzen für eine periodische Ungleichmässigkeit in der Rotation unerwartet gross ist.

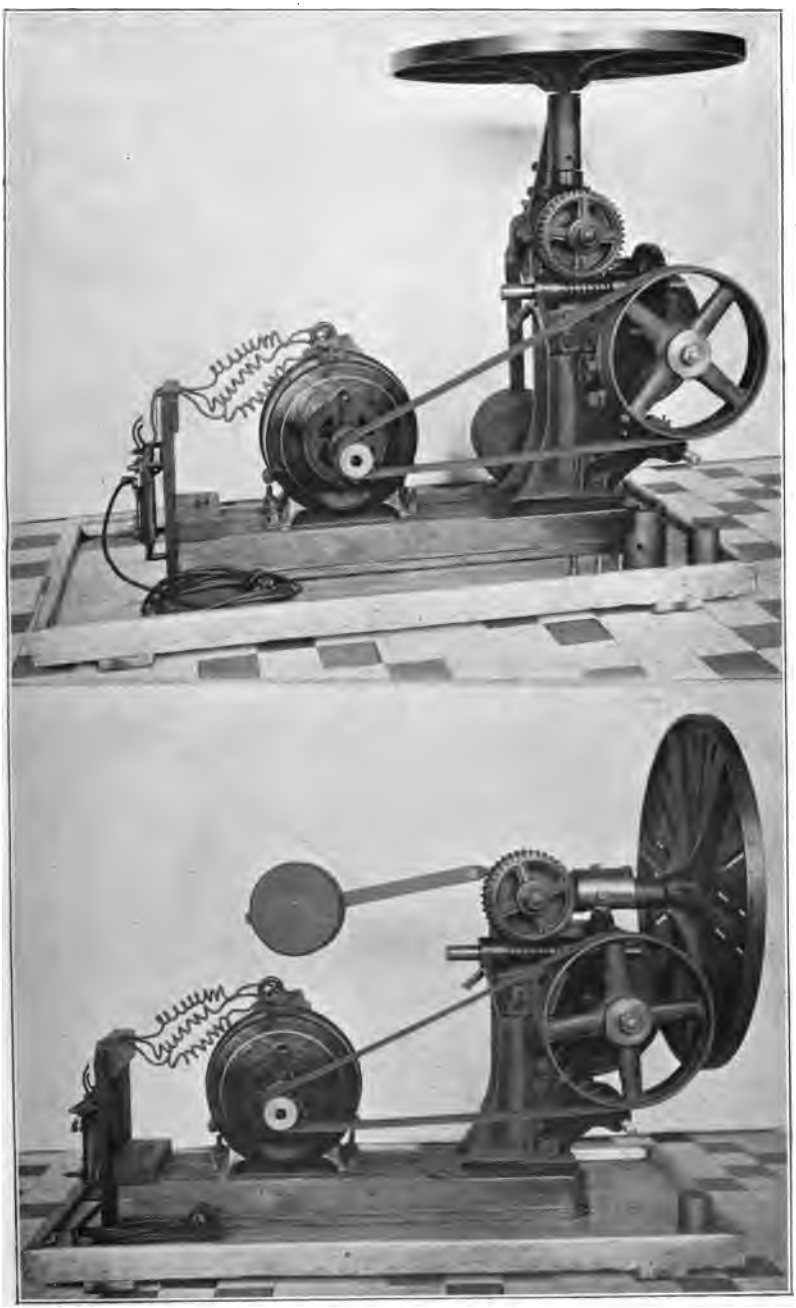
Den Begriff Klinostat fasse ich selbstverständlich auf nach der Bestimmung, welche sein eigentlicher Erfinder J. Sachs dafür aufstellte. Der Klinostat ist danach ein Instrument, das eine Last gleichmässig um eine Achse zu rotieren vermag mit einer Umlaufzeit, welche ungefähr zwischen einer Minute und einer Stunde liegt.

Behufs der Ausschliessung geotropischer Krümmungen wird die Achse horizontal gestellt. Ich werde in der vorliegenden Untersuchung hauptsächlich die geotropische Empfindlichkeit der Pflanzen und die horizontale Stellung der Achse ins Auge fassen.

Die Achse des Klinostaten, auf welche die Pflanzen befestigt werden, nenne ich die Umdrehungsachse, um sie von den übrigen Achsen des Instrumentes zu unterscheiden.

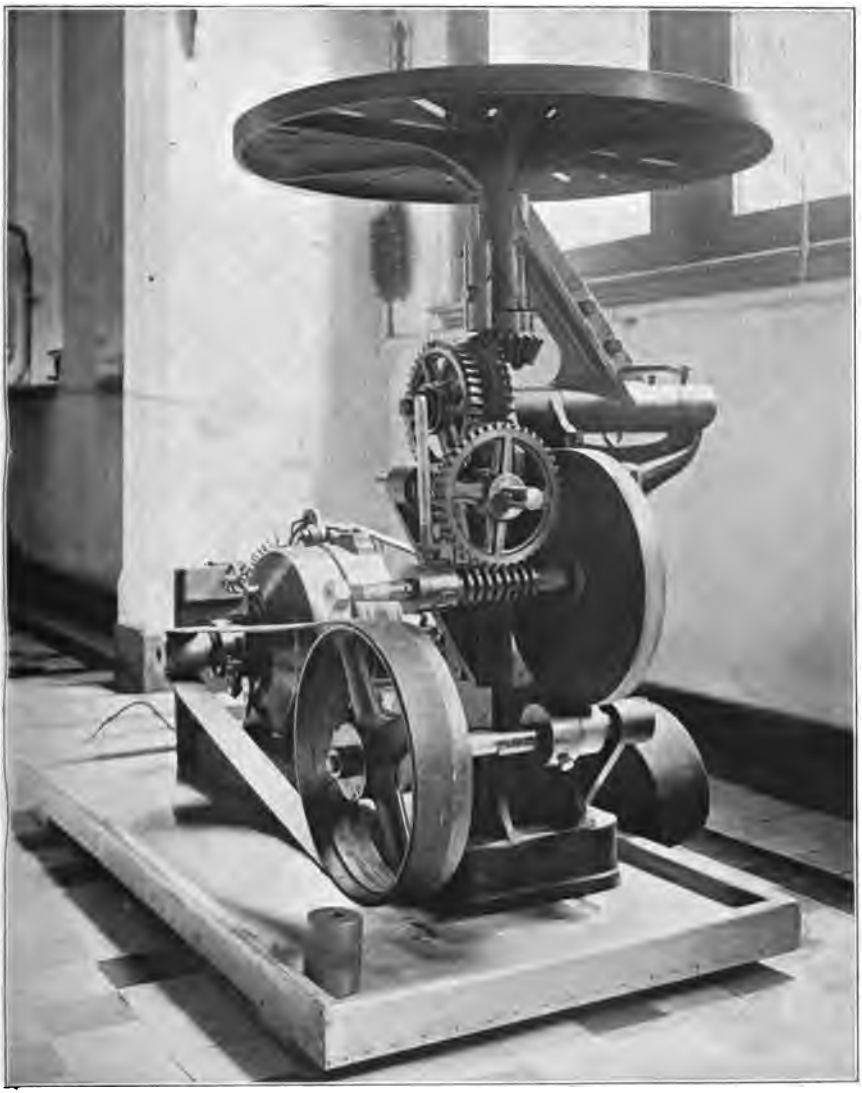
Die vorliegende Untersuchung wurde unternommen im botanischen Laboratorium von Professor J. W. Moll zu Groningen. Sofern die Hilfsmittel dieses vorzüglich eingerichteten Institutes nicht genügten, wurde mir der Gebrauch gestattet von Instrumenten aus den Laboratorien der Professoren H. Haga, H. J. Hamburger und G. Heymans dahier. Die Professoren J. M. Janse in Leiden und F. A. F. C. Went in Utrecht leihten mir ihre Klinostaten. Ich bringe allen denjenigen, welche diese Untersuchung gefördert haben, meinen besten Dank.

Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

KAPITEL I.

Die Prinzipien im Bau der bis jetzt konstruierten Klinostaten.

Seit mehr als einem Jahrhundert hat man botanische Untersuchungen angestellt mit Hülfe der Rotierung von Pflanzen. Dazu sind sehr verschiedene Vorrichtungen konstruiert worden. Die ältesten dieser Vorrichtungen beanspruchen nur historisches Interesse, weshalb sie hier nur eine kurze Erwähnung finden werden.

Im Jahre 1794 liess **J. Hunter** eine Bohne wachsen in einem zylindrischen fussweiten Körbchen mit Erde, das in steter Drehung um eine horizontale Achse begriffen war [1]. Die Achse ruhte in zwei Einschnitten im Rande eines grossen Fasses mit Wasser. Das Wasser floss langsam durch ein kleines Loch nahe am Boden aus dem Fasse, welches je nach 12 Stunden wieder gefüllt wurde. Das freie Ende einer um das Körbchen gewundenen Schnur war mit einem schwimmenden Gewichte verbunden. Je nachdem das Gewicht zugleich mit dem Wasserspiegel sank, drehte das Körbchen rund. Dabei wurde eine Umdrehung in ungefähr acht Stunden vollendet.

Diese Vorrichtung ist zwar noch sehr primitiv, doch beantwortet sie ganz an der Definition eines Klinostaten.

---

1) Zitiert nach Fr. Darwin, On the Power possessed by Leaves of placing themselves at Right Angles to the Direction of Incident Light. The Journal of the Linnean Society, Botany. Vol. 18. 1881. S. 425 und S. 449. Und nach Catalogue of the physiological series of comparative anatomy in the museum of the royal college of surgeons in London, Vol. 5, 1840, S. 11—12.

Digitized by Google

Die Triebkraft und die Regulierung der Rotation waren sogar sehr konstant.

Th. A. Knight arbeitete in 1806 mit einem senkrecht gestellten Rade von 11 Zoll Durchmesser, das mittelst eines anderen mit Schuppen versehenen Rades von einem Bach getrieben wurde [1]). In Verbindung mit dem ersten Rade stand ein horizontales Rad von gleichem Durchmesser. Das vertikale Rad machte ungefähr 150 Umdrehungen pro Minute, das horizontale Rad 250 pro Minute.

Diese Umdrehungsgeschwindigkeit ist so gross, dass sie eine erhebliche Zentrifugalkraft verursacht. Es muss die von Knight benutzte Vorrichtung deshalb nicht zu den Klinostaten, sondern zu den Zentrifugalapparaten gerechnet werden.

H. Dutrochet [2]) konstruierte ein Uhrwerk, das von einem Gewicht von 270 Pfund getrieben wurde, welches man jede 12 Stunden aufzog. Die Bewegung wurde von Windflügeln reguliert, deren Achse senkrecht stand. Jede der horizontalen Achsen der 5 senkrecht stehenden Räder hatte ein frei hervorstehendes, viereckiges Endstück, worauf eine hölzerne Scheibe gesteckt werden konnte. Die Keimlinge wurden in Glasballons an diese Scheibe befestigt.

Die Schnelligkeit der Rotation in senkrechter Ebene war verschieden je nachdem die Scheibe auf ein schnelleres oder ein langsameres der 5 horizontalen Achsenenden be-

1) Th. A. Knight, On the Direction of the Radicle and Germen during the Vegetation of seeds. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 1806, Part I, S. 99—108.

2) H. Dutrochet, Recherches anatomiques et physiologiques sur la structure intime des animaux et des végétaux, et sur leur motilité. Paris, 1824. S. 139 u. f. Dasselbe in H. Dutrochet, Mémoires pour servir à l'histoire anatomique et physiologique des végétaux et des animaux, Tome II, Paris, 1837, S. 39 u. f.

Digitized by Google

festigt war. Bei einigen Versuchen wurden 40 Umdrehungen pro Minute, bei anderen 30 Umdrehungen pro Stunde [1]) angewendet. Die letztgenannte langsame Rotation verursachte keine merkbare Zentrifugalwirkung bei den Versuchspflanzen und es liegt hier somit wieder eine Klinostatenvorrichtung vor. Die Achse der Windflügel wurde gebraucht für Rotation in horizontaler Ebene. Hier betrug die geringste Schnelligkeit jedoch 54 Umdrehungen pro Minute [2]), was noch der Schnelligkeit eines Zentrifugalapparates entspricht.

A. Wigand erwähnt neben seinen Versuchen mit Zentrifugalapparaten auch einige Versuche mit langsamer Rotation [3]). Die von ihm gebrauchte Vorrichtung war eine Wanduhr. Der Keimboden wurde an den Minutenzeiger oder an den Stundenzeiger befestigt.

W. Hofmeister gebrauchte bei seinen Rotationsversuchen eine so schnelle Drehung [4]), dass man seine Vorrichtungen zu den Zentrifugalapparaten rechnen muss.

In seiner Experimental-Physiologie erwähnt **J. Sachs** [5])

---

1) l. c. S. 147, resp. l. c. S. 45.

2) l. c. S. 143, resp. l. c. S. 43.

3) A. Wigand, Botanische Untersuchungen. Braunschweig, 1854, S. 146.

4) W. Hofmeister, Über die durch die Schwerkraft bestimmten Richtungen von Pflanzentheilen. Berichte über die Verhandl. der kön. sächs. Ges. der Wissenschaften zu Leipzig, Math.-Phys. Classe, 12ter Band 1860, S. 210. (Dasselbe in Pringsheims Jahrbüchern für wiss. Bot., Bd. III, 1863).

W. Hofmeister, Die Lehre von der Pflanzenzelle, Leipzig, 1867, S. 282.

5) J. Sachs, Handbuch der Experimental-Physiologie der Pflanzen, Leipzig, 1865, S. 111.

Digitized by Google

nur einfache Apparate zum Demonstrieren der Zentrifugalversuchen. Doch erklärt er schon die Wirkung der langsamen Rotation [1]) und in 1871 liess er sich einen Klinostaten konstruieren, den ersten mit dem ausführliche Untersuchungen unternommen wurden.

In 1872 berichtete er über die Versuche, welche er mit der langsamen Rotation unternommen hatte [2]). Die ausführlichere Beschreibung dieser Versuche erfolgte in 1873 und 1874 [3]), jedoch ohne eine eingehende Beschreibung des angewendeten Apparates.

An den hierauf bezüglichen Stellen wurde nur erwähnt, dass die horizontal stehende Achse kontinuierlich und gleichförmig drehte, eine Umdrehung in 10 bis 20 Minuten vollendete [4]) und dass die Drehung stossweise stattfand, den Schwingungen des Pendels am Uhrwerk entsprechend [5]).

H. Müller (Thurgau) gebrauchte in 1876 den Klinostaten von Sachs, ebenfalls ohne das Instrument näher zu beschreiben [6]).

Behufs heliotropischer Untersuchungen wendete Sachs seinen Uhrwerkklinostaten mit senkrechter Achse an. S. H. Vines gebrauchte diese Vorrichtung und bildete sie ab [7]). Der Figur oder der Beschreibung ist jedoch nicht

---

1) l. c. S. 107.

2) J. Sachs, Studien über das Längenwachsthum der Wurzeln. Verhandlungen der physikal.-medicin. Gesellschaft in Würzburg, Neue Folge, Bd. II, 1872, S. 256.

3) J. Sachs, Ueber das Wachsthum der Haupt- und Nebenwurzeln. Arbeiten des botanischen Instituts in Würzburg, Bd. I, Heft III 1873, S. 385 u. f. und Heft IV 1874, S. 584 u. f.

4) l. c. S. 389.

5) l. c. S. 597.

6) H. Müller (Thurgau), Ueber Heliotropismus. Flora, Bd. 59, 1876, S. 67.

7) S. H. Vines, The Influence of Light upon the Growth of unicellular Organs. Arbeiten des bot. Inst. in Würzburg, Bd. II, Heft I 1878, S. 135.

Digitized by Google

viel näheres zu entnehmen, nur dass das Uhrwerk von einem Gewichte getrieben wurde. In 1879 endlich veröffentlichte Sachs einige genaueren Angaben über das indessen vom ihm verbesserte Instrument [1]). Seine Beschreibung lautet [2]):

„Ein starkes Uhrwerk mit Gewicht und Pendel ist auf der einen kürzeren Seite eines 4-eckigen Holzrahmens von 95 c.m. Länge und 71 c.m. Breite befestigt, der auf vier 120 c.m. hohen Beinen steht. Etwa 5 c.m. über dem Rahmen geht die Rotationsaxe vom Uhrwerk über die Oeffnung des Rahmens hinüber zur entgegengesetzten Seite desselben. Die Axe besteht aus einem 20 m.m. dicken, 83 c.m. langen leichten Messingrohr; mittels eines vierkantigen Loches lässt sie sich auf eine vierkantige Verlängerung der Axe des grössten Rades des Uhrwerkes aufschieben; ihr anderes Ende hat eine conische Höhlung, in welche das conische Ende einer horizontalen Schraube eingreift, welches als Zapfenlager dient; zieht man die Schraube zurück, so lässt sich die Messingaxe leicht aus dem ganzen Apparat herausnehmen. Um sie mittels einer Wasserwage genau horizontal zu stellen (was auch mit dem Holzgestell geschehen muss), ist das die Schraubenmutter enthaltende Stahlstück selbst an einem auf dem Rahmen befestigten Fuss vertical verschiebbar".

„Das Uhrwerk giebt der Axe keine continuirliche, sondern eine in leisen Stössen erfolgende Bewegung, die dem Eingreifen der Zahnräder entsprechen; eine volle Umdrehung erfordert c.a. 20 Minuten und das Gewicht sinkt dabei so langsam, dass das Uhrwerk nur alle 24 Stunden aufgezogen zu werden braucht".

---

1) J. Sachs, Ueber Ausschliessung der geotropischen und heliotropischen Krümmungen während des Wachsens. Arbeiten des bot. Inst. in Würzburg, Bd. II, Heft II, 1879, S. 209 u. f.

2) l. c. S. 216 und 217.

Digitized by Google

Die weiteren Angaben betreffen nur die Vorrichtungen zur Befestigung u. s. w. der Pflanzen an die horizontale Achse. Hier wird auch zum ersten Mal der Name Klinostat vorgeschlagen, „ein Wort, welches andeuten soll, dass das Krümmen (κλίνειν) der Pflanzen dadurch sistirt wird [1]."

Eine spätere Form des Sachsschen Klinostaten ist abgebildet in den Vorlesungen [2]) und in den Gesammelten Abhandlungen [3]) von Sachs. Die lange horizontale Achse ist hier nicht über den oben genannten Holzrahmen, sondern zwischen zwei gesondert stehenden kleinen hohen Tafeln aufgestellt.

Ich habe den Sachsschen Klinostaten etwas ausführlicher behandelt wegen zweier Umstände. Erstens ist er ein klassisches Instrument, mit welchem von Sachs grundlegende Untersuchungen angestellt worden sind. Zweitens weicht er in seiner Konstruktion erheblich ab von den späteren Klinostaten, was ihm nicht zum Nachteil gereicht. Es wird im Laufe dieser Untersuchung gezeigt werden, dass er Vorteile bietet über die von einer Feder getriebenen Klinostaten.

Die Beschreibung, welche Sachs von seinem Uhrwerk gegeben, ist eine sehr unvollständige. Auch den genannten Figuren ist nichts genaues über die Konstruktion zu entnehmen. Doch lässt sich aus ihnen mit Wahrscheinlichkeit das Folgende ableiten.

Das Gewicht hängt an einer Flaschenzugrolle und kann nicht tiefer herabsinken als ungefähr 1 Meter. Die Windetrommel enthält daher weniger als 2 Meter des Seiles, was bei einem Durchmesser von etwa 6 cm 10 Windun-

---

1) l. c. S. 217.

2) J. Sachs, Vorlesungen über Pflanzen-Physiologie, 1ste Aufl. Leipzig, 1882, S. 836 und 2te Aufl. Leipzig, 1887, S. 721.

3) J. Sachs, Gesammelte Abhandlungen über Pflanzen-Physiologie, Bd. II. Leipzig, 1893, S. 993.

Digitized by Google

gen entspricht. Das Gewicht muss jede 24 Stunden aufgezogen werden. Die Windetrommel macht somit ungefähr 10 Umdrehungen in 24 Stunden oder 1 Umdrehung in 144 Minuten. Die Geschwindigkeit der Umdrehungsachse ist ungefähr 8 Mal so gross. Es folgert sich hieraus, dass das Gewicht nicht unmittelbar auf die Umdrehungsachse wirkt, sondern mittelst einer Übertragung, welche die Umlaufzeit ungefähr 8 Mal verkleinert. Das hierzu nötige Getriebe hat immer einigen Raum im Eingriff der Zähne. Es muss die Last der Umdrehungsachse daher sehr gut zentriert werden, damit der Schwerpunkt beim Passieren seiner höchsten und niedrigsten Stellung nicht plötzlich ein wenig herabsinkt resp. einen Augenblick still steht.

Den Figuren ist nicht zu entnehmen, wie das Aufziehen des Gewichtes stattfindet.

Wenn kein Gegengesperre bei der Trommel angewendet ist, wird die Rotation der Umdrehungsachse jedesmal beim Aufziehen des Gewichtes unterbrochen werden müssen.

Den Bau des Sachsschen Klinostaten fasse ich in den folgenden Prinzipien zusammen:

a. Die Triebkraft ist ein Gewicht und ist somit konstant.

b. Die Regulierung wird von einem Pendel besorgt; sie ist mithin sehr konstant und bis zu einem gewissen Grade unabhängig von der Last und von einem geringen Übergewicht an der Umdrehungsachse. Die Bewegung ist ruckweise.

Nach diesen Prinzipien ist später noch ein sehr einfacher Klinostat erbaut worden von den Professoren **P. Meyer** und **Schönlein** in Neapel. Die Vorrichtung wurde beschrieben und abgebildet von P. Klemm [1]), der sie gebrauchte bei Versuchen unter Wasser mit *Caulerpa.*

---

1) P. Klemm, Ueber *Caulerpa prolifera.* Flora, Bd. 77, 1893, S. 475 und 476.

Digitized by Google

Sie bewältigte nur eine geringe Last und bot keine neuen Vorteile. Die Pendeluhr war an einem Stativ hoch über einem Tische befestigt.

Der Figur ist zu entnehmen, dass die Kette des Gewichtes über einen Saitenkonus lief, welcher mittelst einer Schnur die Umdrehungsachse rotieren machte. Durch das langsame Herabsinken des Gewichtes geriet der Saitenkonus in Drehung, wodurch die Umdrehungsachse mittelst der Seiltransmission eine Rotation in 20 Minuten vollendete.

W. Oels bildet eine Vorrichtung ab [1]), wobei die Stundenachse einer grossen, von einem Pendel regulierten Wanduhr als horizontale Umdrehungsachse eines improvisierten Klinostaten funktioniert.

Die Leistungsfähigkeit der Pendelklinostaten ist offenbar eine geringe; es können nur leichte Keimboden, nicht etwa ein Topf mit Erde, um die horizontale Achse durch das Uhrwerk gedreht werden. Wahrscheinlich ist dies wohl die Ursache, dass sonst keiner der späteren Klinostaten nach den genannten Prinzipien konstruiert worden ist.

J. Wiesner gebrauchte in 1878 zwei Klinostaten von sehr einfacher Konstruktion [2]). Sie bestanden aus einem von einer Feder getriebenen Laufwerke, welches in einem flachen sechseckigen Kasten beschlossen war [3]). Die Achse ragte aus dem Deckel hervor und machte bei dem einen Laufwerk eine Umdrehung in einer Viertelstunde, bei dem anderen in einer Stunde. Wenn der Kasten auf einen der 6 Seitenkanten gestellt wurde, stand die Umdrehungsachse

---

1) W. Oels, Pflanzenphysiologische Versuche. Braunschweig, 1893, S. 50.

2) J. Wiesner, Die heliotropischen Erscheinungen im Pflanzenreiche. Denkschriften der kais. Akad. der Wissenschaften in Wien, Math.-Naturw. Classe, Bd. 39, 1879, S. 195.

3) So zeigt es die Abbildung in einem Verzeichnis von J. Nemetz, Mechaniker zu Wien, 1899.

Digitized by Google

horizontal und war sie geeignet für Ausschliessung der geotropischen Krümmung. Auf das Achsenende wurde dann eine Scheibe befestigt mit vier kreuzweise angeordneten Metallhülsen, welche senkrecht auf die Achse gerichtet waren und in welche kleine Glaszylinder von 2 bis 2½ cm Durchmesser eingepasst wurden zur Aufnahme der Keimboden und Keimlinge. Die Keimlinge wurden somit senkrecht auf der Umdrehungsachse gestellt.

Das Instrument ist in einer etwas stabileren Form abgebildet in Wiesners Elemente der wissenschaftlichen Botanik [1]).

Die Regulierung des Laufwerkes wird von Wiesner nicht angegeben. In dem genannten Lehrbuche erwähnt er jedoch, dass eine Uhr von grosser Triebkraft als Laufwerk gebraucht wurde [2]).

Eine solche Uhr wird gewöhnlich reguliert von einem Ankergang, was warscheinlich auch bei dem Wiesnerschen Klinostaten der Fall ist.

Eine ganze Reihe von Klinostaten sind nach denselben Prinzipien konstruiert worden.

Diese Prinzipien sind:

a. Die Triebkraft ist eine Feder und ist somit nicht ganz konstant.

b. Die Regulierung wird von einem Ankergang besorgt; sie ist mithin ziemlich konstant, doch nicht so unabhängig von der Last und von einem geringen Übergewicht als das Pendel beim Sachsschen Klinostaten. Die Bewegung ist ruckweise.

Von den ähnlich gebauten Klinostaten nenne ich noch die Folgenden.

---

1) J. Wiesner, Elemente der wiss. Bot., Bd. I, Anatomie und Physiologie der Pflanzen, 5te Aufl., Wien, 1906, S. 334.
2) l. c. S. 333.

Digitized by Google

Fr. Darwin gebrauchte in 1880 einen Klinostaten, der nach den Angaben von **Horace Darwin** konstruiert worden war [1]). Das Instrument wird von ihm abgebildet und ausführlich beschrieben [2]).

Die Triebkraft wird von einem gewöhnlichen Uhrwerk geliefert, welches mittelst einer Seiltransmission die Umdrehungsachse dreht. Je nach der benutzten Schnurscheibe wird eine Umdrehung in 20 oder in 30 Minuten vollendet.

Durch eine besondere Vorrichtung kann die Last sehr gut zentriert werden. Eine Last von 1000 Grammen kann dadurch gedreht werden mit der Gewissheit, dass sie nicht stehen bleiben wird [3]).

Derselbe Klinostat ist auch beschrieben und abgebildet im Leitfaden der praktischen Pflanzenphysiologie von Darwin und Acton [4]).

Der Klinostat, den **W. Detmer** in der ersten Auflage seines pflanzenphysiologischen Praktikums beschreibt und abbildet [5]), ist gerade so konstruiert wie der Darwinsche, nur etwas einfacher. In der zweiten Auflage wird er nicht wieder erwähnt.

W. Pfeffer beschreibt in der ersten Auflage seines Handbuches einen Klinostaten [6]), der durch eine starke

---

1) Fr. Darwin, On the Power possessed by Leaves of placing themselves at Right Angles to the Direction of Incident Light. The Journal of the Linnean Society, Botany, Vol. XVIII, London, 1881, S. 420 u. f.

2) l. c S. 449—455.

3) l. c. S. 455.

4) Fr. Darwin and E. H. Acton, Practical Physiology of Plants, Cambridge, 1894, S. 170—173.

5) W. Detmer, Das Pflanzenphysiologische Praktikum, Jena, 1888, S 304.

6) W. Pfeffer, Handbuch der Pflanzenphysiologie, Bd. II, Leipzig, 1881, S. 305 u. f.

Digitized by Google

Feder getrieben wurde und selbst bei horizontaler Achse einige Kilo rotieren konnte.

Das Instrument ist in Fig. 33 [1]) abgebildet und ist ungefähr gebaut wie folgt:

Als Triebkraft dient ein Anker-Uhrwerk mit sehr starker Feder, das an der Innenseite des Deckels eines schweren Kastens befestigt ist.

Der Deckel kann in jeder Stellung zwischen horizontal und vertikal festgeschraubt werden mittelst zweier bogenförmigen Schienen. Aus der Aussenseite des Deckels ragen 2 Zapfen hervor, die sich mit einer Schnelligkeit von 15 resp. 30 Minuten drehen. Auf diese Zapfen kann die dünne aus Messing gearbeitete Umdrehungsachse geschoben werden, oder im Fall der senkrechten Stellung eine horizontal stehende Scheibe.

Nach denselben Prinzipien ist auch der Klinostat von **A. Hansen** [2]) konstruiert. Es besteht dieser aus einem „Präcisionslaufwerk mit Ankergang, welches die Achsen in einer halben oder ganzen Stunde in Umdrehung versetzt." „Das Uhrwerk läuft 14 Tage. Der Anker ist mit einem Glasgehäuse bedeckt, welches man öffnet, um nach gänzlichem Ablaufen des Werkes den Anker anstossen zu können." Das Instrument ist in horizontaler und vertikaler Stellung abgebildet und ist für geringere Lasten bestimmt als von dem Pfefferschen Klinostaten rotiert werden können.

W. F. Ganong beschreibt neuerdings noch einen Klinostaten [3]), der dem Wiesnerschen sehr ähnlich ist.

---

1) l. c. S. 305.

2) A. Hansen, Einige Apparate für physiologische Demonstrationen und Versuche. Flora, Bd. 84, Ergänzungsband, 1897, S. 353—355.

3) W. F. Ganong, New precision-appliances for use in plant physiology. Botanical Gazette, Vol. 37, 1904, S. 302 u. f.

Digitized by Google

Er besteht aus einem starken Uhrwerk, dessen Achse eine Umdrehung in 15 Minuten macht und das nach einmaligem Aufziehen 2 Tage lang geht.

Diese Umdrehungsachse ragt aus der staub- und wasserdichten Metalldose hervor, worin die Uhr verschlossen ist.

Die Abbildungen zeigen das Instrument in vertikaler, horizontaler und geneigter Lage [1]), indem das ganze Instrument in willkürlicher Stellung an einem Stativ befestigt werden kann. — Die einfachste derartige Ausführung giebt Pfeffer mit den folgenden Worten an [2]):

„Ein sehr einfacher Klinostat, der für manche Zwecke, z. B. für Demonstrationen, brauchbar ist, lässt sich übrigens für einige Mark aus einer sog. amerikanischen Weckeruhr herstellen, an der man durch die Einschaltung einer entsprechenden Zahnradübersetzung z. B. eine Triebachse mit halbstündiger Umdrehungszeit gewinnen kann. Indem an diese ein Glasstab durch Ueberschieben eines kräftigen Gummischlauchstückes befestigt wird, erhält man eine horizontale Welle, an der Keimpflanzen etc. fixirt werden können. Befestigt man ausserdem das Uhrwerk in verstellbarer Weise in einen Metallbügel, so lässt sich der Drehachse eine verticale, geneigte oder horizontale Lage geben."

Die hier beschriebene Vorrichtung wurde mit senkrecht nach unten stehender Achse angewendet und abgebildet von **P. Klemm** [3]).

Die angeführten Beispiele zeigen genügend, dass die Regulierung mittelst eines Ankerganges vielfach bei der Konstruktion von Klinostaten angewendet worden ist.

Doch sind in derselben Zeit einige Klinostaten erbaut worden, welche in anderer Weise reguliert wurden und

---

1) l. c. S. 304 und 305.

2) W. Pfeffer, Handbuch der Pflanzenphysiologie, Bd. II, 2te Aufl., Leipzig, 1904, S. 571.

3) P. Klemm, Ueber *Caulerpa prolifera*. Flora, Bd. 77, 1893, S. 472.

Digitized by Google

die eine ausgedehntere Verwendung gefunden haben als einer der oben angeführten.

Schon in der ersten Auflage seines Handbuchs fügt Pfeffer an der Erklärung seiner Figur 33 diesen Satz zu [1]: „Um ein ruckweises Drehen zu vermeiden, das jede Pendel- und Ankeruhr hervorbringt, dient mir ein durch Flügel regulierter, übrigens ähnlich gebauter Apparat, der Drehungen sehr verschiedener Schnelligkeit herzustellen gestattet".

Es ist dies das vielfach gebrauchte Instrument, das ich fortan als den **Pfeffer**schen Klinostaten andeute. In seiner Form entspricht es ganz dem oben beschriebenen, durch Ankergang regulierten Exemplar.

Es wurde in zwei Grössen, mit stärkerer und mit schwächerer Triebfeder, angefertigt von E. Albrecht in Tübingen [2]. Das Besondere dieses Klinostaten besteht also in der Regulierung des Ganges durch Flügel. Die Flügel sind verstellbar auf ihren Achsen; sie können mehr oder weniger schief gestellt oder auch ganz entfernt werden. Noch durch zwei andere Mittel lässt die Schnelligkeit der Umdrehung sich ändern. Die Spiralfeder auf der Achse des Flügelregulators kann mehr oder weniger gespannt werden; und der Trieb des Regulators kann auf den grossen oder auf den kleinen Radkranz des Kronrades geschoben werden.

In dieser Weise lässt sich beim grossen Klinostaten jede Umlaufzeit zwischen 4 und 26 Minuten an der langsamen Achse, zwischen 36 und 140 Sekunden an der schnelleren Achse herstellen [3]. Wenn man den Regulator

---

1) W. Pfeffer, Handbuch der Pflanzenphysiologie, Bd. II. Leipzig, 1881, S. 305.

2) W. Pfeffer, Bezugsquelle und Preis einiger Apparate. Botanische Zeitung, Bd. 45, 1887, Sp. 27—28

3) Laut eines Preis-Verzeichnisses des Herrn Albrecht, ohne Jahreszahl.

Digitized by Google

ganz entfernt, wird mit der schnellsten Achse eine Umlaufzeit von ungefähr 1 Sekunde erreicht, wobei das Instrument alle 3 bis 5 Minuten neu aufgezogen werden muss. Sogar in dieser Weise konnte Fitting das Instrument bei einigen geotropischen Versuchen anwenden [1]).

Die Vorteile der Flügelregulation sind mithin beim Pfefferschen Klinostaten benutzt worden, um die Umlaufzeit zwischen weiten Grenzen ändern zu können.

In der Beschreibung und Abbildung in der zweiten Auflage des Handbuches nennt Pfeffer zwei Formen seines Klinostaten, resp. mit 2 und 3 Triebzapfen [2]). Diese neuesten Formen gestatten jede Umlaufzeit zwischen 2 Minuten und 70 Minuten resp. 8 Stunden.

Die Umdrehungsachse ist beim Pfefferschen Klinostaten durch ein Kugelgelenk mit dem Triebzapfen verbunden und trägt eine besondere Zentrierungsvorrichtung. Das genannte Preisverzeichnis sagt davon:

„Die Äquilibrierung der Lasten geschieht in der Weise, dass zunächst das Universalgelenk auf der entsprechenden Achse des Klinostaten festgeklemmt wird. Im oberen Teil des Gelenkes ist die belastete Achse, welche mit ihrem anderen Ende auf den Friktionsrollen aufliegt, leicht drehbar; infolge dessen dreht sich das Uebergewicht der Last nach unten und nun wird der auf der Achse drehbar befestigte Stift nach oben gekehrt und die auf dem Stift verschiebbaren Gewichte so befestigt, bis das Gleichgewicht hergestellt ist, worauf die Achse im Universalgelenk festgeklemmt wird."

Die Prinzipien im Bau des Pfefferschen Klinostaten sind aus all dem erwähnten abzuleiten:

---

1) H. Fitting, Untersuchungen über den geotropischen Reizvorgang. Jahrbücher für wiss. Botanik, Bd. 41, 1905, S. 297.

2) W. Pfeffer, Handbuch der Pflanzenphysiologie, Bd. II, 2te Aufl., Leipzig, 1904, S. 571.

Digitized by Google

a. Die Triebkraft ist eine Feder und ist somit nicht ganz konstant.

b. Die Regulierung geschieht mittelst Flügel; sie ist mithin sehr abhängig von der Last und von einem geringen Übergewicht. Die Bewegung ist stossfrei.

c. Als Ersatz für die Empfindlichkeit der Flügelregulierung gegen ein Übergewicht ist eine besondere Zentrierungsvorrichtung angebracht.

Der Klinostat von H. Heele, angefertigt auf Bestellung von **S. Schwendener** [1]), ist in seinem Wesen nur ein Pfefferscher Klinostat in stärkeren Dimensionen. In einigen Unterteilen unterscheidet er sich durch bessere Konstruktion; so ist der Flügelregulator mit einer Schraube ohne Ende anstatt des Kronrades versehen. Später sind noch einige Verbesserungen vorgenommen, wie Schwendener erwähnt [2]). Es wird dort die Umlaufzeit auf 10 bis 60 Minuten angegeben, indem der Apparat nach einmaligem Aufziehen 36 bis 40 Stunden läuft.

Eine abweichende Form hat der **Wortmann**sche Klinostat erhalten [3]).

Hier ist das Uhrwerk nicht an den Deckel eines Kastens befestigt, sondern auf einem festen eisernen Fuss aufge-

---

1) H. Heele, Grosser Klinostat. Zeitschrift für Instrumentenkunde, Bd. 5, 1885, S. 122—124.

2) S. Schwendener und G. Krabbe, Über die Orientirungstorsionen der Blätter und Blüthen. Abhandlungen der kön. Akademie der Wissenschaften zu Berlin, 1892, S. 70. Ebenfalls abgedruckt in S. Schwendener, Gesammelte botanische Mittheilungen, Bd. 2, 1898, S. 326.

3) J. Wortmann, Ein neuer Klinostat. Berichte der deutschen botanischen Gesellschaft, Bd. 4, 1886, S. 245—248, mit Tafel XIII.

Digitized by Google

schraubt. Die schiefen Stellungen der Umdrehungsachse werden nur durch ein Kugelgelenk ermöglicht. Die vertikale Stellung wird von einer leicht anzubringenden Achse besorgt, welche mittelst zweier konischen Räder mit dem Triebzapfen verbunden wird.

Das Instrument hat drei Triebzapfen, welche übereinander gestellt sind und ohne Belastung einen Umlauf in resp. 10, 15 und 20 Minuten vollenden, wenigstens bei den Exemplaren, deren Windfang nicht verstellbar ist. Es sind jedoch auch Exemplare verfertigt mit Flügeln, welche ein wenig verstellt werden können. Ein besonderer Vorteil des Instrumentes ist die Vorrichtung um durch Ausziehen eines Stiftes die Kommunikation der drei Triebachsen mit dem Uhrwerk zu unterbrechen. Es ist dadurch eine relativ gute Zentrierung mittelst des oben beschriebenen Zentrierungsstiftes möglich. Die Reibung der Achsen in ihren Lagern ist ja geringer als die Reibung der Umdrehungsachse in dem Kugelgelenk, welche letztere beim Zentrieren des Pfefferschen Klinostaten überwunden werden muss.

Die Handhabung des Instrumentes ist eine sehr bequeme. Die Tragfähigkeit ist geringer als beim Pfefferschen Klinostaten. Wortmann sagt davon: „Bei der angestellten Prüfung fand bei horizontaler Drehungsaxe bei einer Belastung von 2 kg noch ganz regelmässige und ruhige Bewegung statt. Allerdings bei einer Verlangsamung von 1 Minute pro Umdrehung. Bei verticaler Axe aber konnte eine Belastung von 5 kg angewendet werden, ohne dass eine Verlangsamung der Umdrehung eintrat" [1]).

Die ausführliche Beschreibung und Abbildung des Wortmannschen Klinostaten ist auch von Detmer in seinem Praktikum abgedruckt worden [2]).

---

1) l. c. S. 248.

2) W. Detmer, Das Pflanzenphysiologische Praktikum, 2te Aufl., Jena, 1895, S. 378—380.

Digitized by Google

Im Handel sind kräftige Triebwerke zu erhalten, welche zum Drehen einer Last in Schaufenstern bestimmt sind. Sie werden durch Flügel reguliert, doch sie drehen für den Gebrauch als Klinostaten zu schnell.

Pfeffer giebt in seinem Handbuch an, dass hieraus durch Veränderung der Flügelregulation oder durch die Einschaltung einer Ankerregulation ein Klinostat zu konstruieren sei [1]).

J. Wiesner demonstrierte im November 1901 „einen über seinen Auftrag von L. Castagna construierten Klinostat, der durch Anbringung eines Kugellagers trotz seiner geringen Grösse im Stande ist, ein Gewicht von mehr als 30 kg. zu rotieren" [2]). Das Instrument ist etwas näher beschrieben worden von K. Linsbauer [3]), der jedoch nicht über die Regulierung des gewöhnlichen hierin verwendeten Uhrwerkes berichtet. Der Apparat gestattet nur eine Rotation um die vertikale Achse und vermag laut dieser Angabe 70 bis 100 kg völlig gleichmässig zu rotieren.

In späteren Jahren wurde immer mehr das Bedürfnis empfunden, grössere und zahlreichere Pflanzen zugleich rotieren zu können. Die Federklinostaten boten dazu keine Gelegenheit, denn auch der letztgenannte Klinostat von Wiesner ist dazu bei geneigter oder horizontaler Achsenlage nicht im stande.

Eben in dieser Zeit haben sich verschiedene Arten von Motoren mehr als früher zu mehreren Zwecken in den Laboratorien eingebürgert. So nimmt es kein Wunder, dass einige kräftigen Klinostaten erbaut worden sind, welche mit Hülfe solcher Motoren getrieben wurden. Im

---

1) l. c. Bd. II, 2te Aufl., 1904, S. 571, Anmerkung 3.
2) Österreichische Botanische Zeitschrift, Bd. 52, 1902, S. 85.
3) K. Linsbauer, Deutsche Mechaniker-Zeitung, 1904, S. 33.

Digitized by Google

hiesigen botanischen Institut ist ein solcher Klinostat mit Elektromotor vorhanden. Über die Gleichmässigkeit seiner Rotation wird in dieser Untersuchung ausführlich berichtet werden. Hierum, und weil das Instrument noch nicht beschrieben wurde, werde ich seine ausführliche Beschreibung derjenigen der übrigen Motorklinostaten voranschicken.

Der Klinostat wurde nach den Angaben von Prof. **J. W. Moll** im Jahre 1898 angefertigt von der elektrotechnischen Firma H. Doyer und der Maschinenfabrik „Reineveld," Direktor Herr J. G. F. Rooker, beide damals in Delft.

Er ist in vertikaler und in horizontaler Stellung abgebildet auf Tafel III.

Tafel IV zeigt ihn in einer solchen vertikalen Stellung, dass die Räder des Gehwerkes deutlich hervortreten.

Tafel V stellt 4 Ansichten des Instrumentes dar auf $^1/_{10}$ der natürlichen Grösse. Figur A ist die Obenansicht nach Entfernung der grossen Scheibe. Figur B ist die Seitenansicht an der Seite der Riemenscheibe; der Motor ist weggelassen. Figur C ist die Vorderansicht. Figur D ist die Obenansicht der grossen gusseisernen Scheibe, auf welche die zu rotierenden Pflanzen befestigt werden.

In den 4 Figuren sind die nämlichen Unterteile mit denselben Ziffern angedeutet. Die in der folgenden Beschreibung genannten Ziffern beziehen sich auf diese Tafel V. Alle Längenmaasse sind den Figuren zu entnehmen durch Multiplikation mit 10.

Der schwere gusseiserne Fuss 1 ist behufs der Riemenspannung mit zwei Führungsschlitten 2 versehen, in welchen der Elektromotor 3 verschiebbar festgeschraubt ist.

Am hinteren Ende des Fusses ist der Anlassrheostat 4 befestigt.

Der Riemen 5 verbindet den Motor mit der Riemenscheibe 6, welche auf die untere Achse 7 befestigt ist. Auf dieser Achse ist die zylindrische eiserne Friktionsrolle 8 festgekeilt die gegen die Friktionsscheibe 9 drückt.

Digitized by Google

Diese Scheibe ist von Eisen und mit ein Friktionsband von Gummi umgeben. Die Friktionsscheibe sitzt auf der Achse 10, welche wir die erste Wurmachse nennen werden. Der erste Wurm hat ein einfaches Gewinde und greift in das Zahnrad 11, das an der zweiten Wurmachse 12 befestigt ist. Der zweite Wurm hat ebenfalls ein einfaches Gewinde und greift in das Zahnrad 13. Das Zahnrad 13 ist fest verbunden mit dem konischen Zahnrade 14; sie drehen frei um die feste Achse 15, welche durch die Schraube 16 im Fussstück festgehalten wird. Das konische Rad 14 greift in den Zähnen des konischen Rades 17, welches in einem Stück mit der Umdrehungsachse 18 gegossen ist. Die Scheibe 19 ist mit der Achse 18 verbunden durch drei Schrauben 20. Sei ist mit vielen radialen Schlitzen 21 versehen, worin die Stäbe u. s. w. befestigt werden, welche die Pflanzen tragen sollen.

Der Elektromotor 3 ist ein Nebenschlussmotor von einer Pferdestärke und ist berechnet für 230 Volt. Doch beträgt die Spannung der Laboratoriumsleitung nur 113 Volt, so dass der Motor Wochen lang ohne Pause laufen kann, ohne sich je zu erhitzen. Seine Tourenzahl ist 850 pro Minute. Die Riementransmission vermindert diese Zahl 5 Mal, also bis auf 170 pro Minute.

Die Friktionsscheibe 9 an der ersten Wurmachse 10 dreht 5 Mal so langsam, also 34 Mal pro Minute.

Das Zahnrad 11 hat 40 Zähne; dadurch dreht die zweite Wurmachse (12) 40 Mal so langsam, also 1 Mal in $1^{3}/_{17}$ Minute.

Das Zahnrad 13 hat ebenfalls 40 Zähne; dadurch dreht das konische Rad 14 wiederum 40 Mal so langsam, also 1 Mal in 47 Minuten.

Die konischen Räder 14 und 17 haben resp. 40 und 20 Zähne. Die Umdrehungsachse 18 macht somit einen Umlauf in ungefähr $23^{1}/_{2}$ Minuten. Es ist dies die langsamste Umlaufzeit; allein wenn der Anlassrheostat eingeschaltet bleibt, verringert sich die Schnelligkeit noch bis auf un-

Digitized by Google

gefähr 35 Minuten wegen der dann kleineren Tourenzahl des Motors.

Durch die folgenden leicht auszuführenden Manipulationen ist die Schnelligkeit der Umdrehung zu vergrössern.

Erstens kann anstatt der Riemenscheibe 6 eine Riemenscheibe von 5 Mal kleinerem Durchmesser auf die untere Achse 7 befestigt werden.

Der Motor kann in den Schlitten nicht so weit zurück geschoben werden, dass dann derselbe Riemen noch gebraucht werden kann, weshalb für diesen Fall ein kürzerer Riemen beigegeben ist. Die Umlaufzeit beträgt so ungefähr 4¾ Minuten, und mit eingeschaltetem Anlassrheostat 6 Minuten.

Das kleine Riemenscheibchen ist in der Ecke des Zinktellers unter dem Klinostaten auf Tafel III und IV zu sehen.

Zweitens kann die Riemenscheibe 6, anstatt an der unteren Achse 7, an der ersten Wurmachse 10 befestigt werden. Es muss die Friktionsrolle 8 dann nach links in der Richtung der Keilnute 22 verschoben werden, damit die Friktionsscheibe 9 sich frei drehen kann. Die Verlangsamung durch Friktionsrolle und Friktionsscheibe ist jetzt ausgeschaltet, wodurch die Umlaufzeit ebenfalls 4¾ Minuten beträgt. Wenn der Anlassrheostat eingeschaltet bleibt, wird diese Zeit 6 Minuten. Es dreht sich die erste Wurmachse 10 — und dadurch auch die Umdrehungsachse mit Scheibe — jetzt in der entgegengesetzten Richtung als vorher.

Drittens kann die kleine Riemenscheibe an der ersten Wurmachse 10 befestigt werden. Die Umlaufzeit ist dann noch 5 Mal so gering, also ungefähr 1 Minute.

Andere gewünschten Umlaufzeiten sind selbstverständlich durch Riemenscheiben von anderem Durchmesser zu erhalten.

Die Umdrehungsachse 18 kann in jeder Richtung zwi-

Digitized by Google

schen der vertikalen und der horizontalen gestellt werden, indem ihr Lager 23 mit dem Lagerstück 24 um die feste Achse 15 gedreht wird. Das Stück 24 wird dann wieder durch die Schraube 25 auf die Achse 15 festgeklemmt. Der Eingriff der konischen Räder 14 und 17 ermöglicht die genannte Verstellung, indem das Rad 14 dieselbe Achse 15 hat wie das Stück 24.

Die Scheibe 19 hat das ansehnliche Gewicht von 39 kg. Sie wird darum einigermassen kontrebalanciert durch das eiserne Gewicht 26 von 19½ kg, das an dem Stab 27 verschiebbar ist und mit der Schraube 28 befestigt wird.

In der horizontalen Stellung wird der drehbare Oberteil gestützt durch das Stück 29, das sich gegen den festen Arm 30 anlehnt.

Die Lager der unteren Achse 7 und der ersten Wurmachse 10 sind mit Schmiergefässen versehen.

Nicht alle die genannten Umlaufzeiten lassen sich gleich gut anwenden. Zumal die schnellste, von 1 Minute, giebt dann und wann eine nicht stossfreie Bewegung.

Doch wird man wohl selten eine so schnelle Rotierung bedürfen. Schlimmer war es, dass bei horizontaler Achse im Anfang auch die langsame Bewegung nicht stossfrei war. Die Ursache lag in Reibungen im Eingriff der beiden konischen Räder 14 und 17. Diese Räder sind gegossen, weil geschnittene Räder den Preis des Instrumentes zu sehr erhöht hätten. Und die Umdrehungsachse 18 hat keine ganz fixe Lage, indem er nicht zwischen Lagern eingeschlossen ist behufs der Ermöglichung einer geneigten bis horizontalen Stellung.

Bei vertikaler Stellung verursacht das Gewicht von Scheibe und Last, dass die Zähne immer im tiefsten Eingriff stehen. Bei horizontaler Stellung änderte sich jedoch der Eingriff stetig, was die Bewegung unregelmässig machte. Aus diesem Grund ist eine Art Bremsscheibe 31 angebracht worden, welche durch 3 Schrauben 32 an dem Lager 23

Digitized by Google

befestigt ist und gegen den Kragen 33 der Umdrehungsachse 18 drückt. Diese Bremse hält die Achse mit dem Rad 17 in derselben Stellung, ohne jedoch die Bewegung beträchtlich zu verlangsamen. Im zweiten Kapitel wird gezeigt werden, dass in der vertikalen Stellung die Bremse besser zu entfernen sei. Sie ist von Bronze und steht mit ihren drei Schrauben auf dem Zinkteller in der Figur der vertikalen Stellung auf Tafel III.

Einige Beschwerden verursacht das Gummiband der Friktionsscheibe 9. Das Instrument wird in allen Lagern reichlich mit Öl, an den Zähnen mit Konsistenzfett versehen. Das Gummiband ist ungeachtet des angebrachten Blechschirmes doch schwierig frei vom Öl zu halten, was seine Lebensdauer beeinträchtigt. Des Öles wegen ist der Zinkteller unter dem Instrumente gestellt: ein mit Zink bekleidetes Holzbrett, das in den photographischen Aufnahmen der Tafeln III und IV zu sehen ist.

Der beschriebene Klinostat hat sich gut bewährt bei längerem Gebrauch. Er ist im stande, fast unbegrenzt schwere Lasten zu rotieren. Sein grosses Gewicht — ohne den Elektromotor ungefähr 200 kg — macht das Verschleppen zwar nicht leicht, doch ist er in mehreren Arbeitszimmern gebraucht worden. Sein Stromverbrauch ist nicht zu gross, 1 bis 1¼ Ampere. Sein Preis war 750 Mark ohne den Elektromotor, der 465 Mark kostete. Es wird sich dieser Preis jedoch erhöhen, wenn einige erwünschten Verbesserungen vorgenommen werden: Ersetzung der Friktionsscheibe und Rolle durch geschnittene Zahnräder, Benutzung von geschnittenen konischen Rädern, und bessere Lagerung der Umdrehungsachse. Dagegen wäre durch etwas leichteren Bau einige Ersparnis möglich.

Die Prinzipien, welche beim Bau der Motorklinostaten Verwendung finden, sind folgende:

a. Die Triebkraft ist ein Motor von grosser

Digitized by Google

Kraft, welche im allgemeinen nicht genau konstant sein wird.

b. Die Regulierung wird von der Belastung und von dem Motor selbst bedingt; sie ist mithin ziemlich abhängig von der Last und von einem Übergewicht.

Die Bewegung erfolgt ohne regelmässige Stösse; unregelmässig verteilte Stösse können vorkommen bei zu grosser Reibung im Gehwerk.

c. Genaue Zentrierung der Last ist schwierig, doch auch weniger nötig als bei den Federklinostaten.

Ausser dem Mollschen erwähne ich jetzt noch 3 Motorklinostaten.

Im Jahre 1896 konstruierte **R. Goldschmidt** einen grossen Motorklinostat für das botanische Institut in Brüssel. Er beschrieb die inmittels noch verbesserte Konstruktion des Instrumentes im Jahre 1905 [1]), welche Beschreibung mir nicht zu Gebote stand.

Dieser Klinostat wurde von J. Massart 32 Monate lang mit horizontaler Achse in einem warmen und feuchten Gewächshaus gebraucht, oft Wochen lang mit einer Last von mehr als 60 kg [2]). Neben einer Beschreibung und Zeichnung giebt Massart auch stereoskopische Abbildungen des Klinostaten im Gewächshaus mittelst photographischer Aufnahmen in roter und blauer Farbe.

---

1) Bulletin de la société royale des sciences médicales et naturelles de Bruxelles, Février 1905. Zitiert nach J. Massart, Notes de Technique (siehe unten).

2) J. Massart, Notes de Technique. Annales de la société royale des sciences médicales et naturelles de Bruxelles, Tome XIV, fasc. 2, 1905, S. 5 u. f. des Separatabdrucks.

Digitized by Google

Der Motor ist ein Heissluftmotor, der getrieben wird von einer Petroleumlampe. Durch zwei Riementransmissionen und eine Zahnradübersetzung wird eine horizontale Wurmachse rotiert, welche die Umdrehungsachse in Bewegung setzt.

Die Umdrehungsachse mit Scheibe und Schneckenrad ist um die Wurmachse verstellbar von der vertikalen bis zur horizontalen Lage. Die grosse Scheibe ist von perforiertem Stahlblech verfertigt. Die Umlaufzeit lässt sich ändern durch verschiedene Riemenscheiben und verschiedene Schnelligkeiten des Heissluftmotors. Der Preis ist ohne den Motor 290 Mark. Mit geringeren Mitteln ist bei diesem Klinostaten wohl beinahe dasselbe erreicht wie beim Mollschen.

Seit 1897 benutzte **F. C. Newcombe** einen Motorklinostaten, den er in 1904 beschrieb und abbildete [1]).

Der Motor und die Übersetzungen haben hier jede ihren gesonderten Fuss und sind nur durch die Transmissionsriemen verbunden. Newcombe gebrauchte einen Wassermotor oder einen Elektromotor. Beide hatten ¼ Pferdestärke und machten 1600 Touren pro Minute. Der Motorriemen bewegte ein Schneckenvorgelege mit 100 oder mit 200 Zähnen und einfachem Gewinde. Ausserdem war die Riemenscheibe des Vorgeleges 4 Mal so gross als die des Motors.

Die Umlaufzeit wurde hierdurch schon bis auf ¼ oder ½ Minute gesteigert. Durch weitere Achsen mit Stufenscheiben und Riemen konnte die Umlaufzeit bis auf die gewünschte Grösse verlängert werden. Für geneigte oder horizontale Lage dient eine besondere Achse, welche mit

---

1) F. C. Newcombe, Klinostats and Centrifuges for physiological Research. Botanical Gazette, Vol. 38, 1904, S. 427, u. f.

Digitized by Google

ihrer Mitte in einem Lager eines drehbaren Stativs ruht, zwischen der Riemenscheibe und der Scheibe zur Befestigung der Pflanzen.

Der Preis ist ohne den Motor ungefähr 110 Mark, mit dem Elektromotor ungefähr 255 Mark.

Das Instrument ist zugleich als Zentrifugalapparat anzuwenden. Er ist nicht für so grosse Lasten berechnet, als von den beiden vorigen Klinostaten rotiert werden können; und die Konstruktion ist mit sehr einfachen Mitteln vorgenommen. Doch ist die ganze Vorrichtung sehr praktisch und bequem in der Handhabung.

Schliesslich wurde auf Anregung **J. Wiesners** in 1903 ein Klinostat für elektrischen Betrieb konstruiert vom Mechaniker L. Castagna. K. Linsbauer nahm an der Konstruktion desselben gleichfalls Anteil und veröffentlichte die Beschreibung und Abbildung des Instrumentes [1]). Wie beim Newcombeschen Klinostaten ist auch hier der Motor, die Übersetzung und der eigentliche Klinostat gesondert aufgestellt, nur durch die Transmissionsriemen verbunden. Der Elektromotor hat ¼ Pferdestärke. Die Übersetzung besteht aus einem Schneckenvorgelege (einfaches Gewinde und 200 Zähne) und zwei Zahnradvorgelegen, wodurch die entfernteste Achse eine Umdrehung pro Stunde macht, wenn die Tourenzahl des Motors 600 pro Minute beträgt. Die 3 Vorgelege sind zu einem Instrumente vereinigt, dessen letzte Achse verlängert ist und schon als Klinostatenachse verwendet werden kann.

Der eigentliche Klinostat wird mit dieser Achse durch Riementransmission verbunden und besteht aus einer Achse, welche horizontal oder vertikal in einem gusseiser-

---

1). K. Linsbauer, Universalklinostat mit elektrischem Betrieb nach Prof. J. Wiesner. Deutsche Mechaniker-Zeitung, 1904, S. 33—36 (Beiblatt zur Zeitschrift für Instrumentenkunde, Bd. 24, 1904).

Digitized by Google

nen Stativ befestigt werden kann. Geneigte Lagen sind mit Hülfe eines Kugelgelenkes zu erhalten.

Durch Einschaltung von Stufenscheiben können beliebige Umlaufzeiten hergestellt werden. Auch können mehrere Klinostaten zugleich in Drehung versetzt werden. Der Apparat kann wie der Newcombesche auch für Zentrifugalversuche dienen. Der Preis von Motor, Übersetzung und 3 Klinostaten ist 850 Mark. Die Ausführung ist dementsprechend eine bessere als beim Newcombeschen Klinostaten. Er rotiert ansehnliche Lasten, sei es nicht so schwere als die Klinostaten von Moll und Goldschmidt.

Digitized by Google

KAPITEL II.

Die Ungleichmässigkeit in der Rotation der Klinostaten.

Im vorigen Kapitel wurde eine Übersicht über die Konstruktionsformen der Klinostaten gegeben. Der Begriffsbestimmung des Klinostaten gemäss muss seine Rotation eine gleichmässige sein. Im vorliegenden Kapitel habe ich untersucht, inwiefern sie dieser Forderung entsprechen.

Dutrochet entdeckte schon in 1824, dass eine Ungleichmässigkeit in der Rotation, welche von einem Übergewicht der Belastung verursacht wird, den Zweck des Klinostaten verfehlt macht [1]. Es ist daher auf die genaue Zentrierung der Last ein grosses Gewicht zu legen.

Sachs sagte davon [2]: „..... läge der Schwerpunkt der zu drehenden Last ausserhalb der Axe, so würde die Drehung auf der Seite, welche das grössere Drehungsmoment besitzt, bei dem Aufsteigen langsamer als bei dem Absteigen erfolgen; die sich drehenden Pflanzen würden also der Erde die eine Seite länger als die andere zukehren und so nach längerer Zeit geotropische Kümmungen zeigen."

Die späteren Forscher haben alle die Notwendigkeit einer gleichmässigen Rotierung erkannt. So sagt Fitting an einer Stelle seiner Untersuchung über den geotropischen

1) H. Dutrochet, l. c. 1824, S. 147—148. Dasselbe in H. Dutrochet, l. c. 1837, S. 45—46.

2) J. Sachs, Ueber das Wachsthum der Haupt- und Nebenwurzeln, l. c. 1874, S. 597.

Digitized by Google

Reizvorgang [1]): „Ich möchte hervorheben, dass diese und die noch weiterhin mitzuteilenden Versuche mit zwei Klinostaten ausgeführt wurden, bei denen durch Vorversuche eine absolut gleichmässige Rotation sichergestellt worden war."

Wie ich in der Einleitung erwähnte, konnte ich von den von mir benutzten Instrumenten nicht dasselbe sagen. Doch gehörten sie zu den meist gebräuchlichen Typen der Klinostaten.

Ich werde nun erst ausführlich berichten über die Untersuchung dieser Instrumente bei horizontaler Achse. Nachher wird kürzlich das Benehmen bei vertikaler Achse besprochen. Endlich werde ich angeben, inwiefern die erhaltenen Schlüsse für die im ersten Kapitel erwähnten Klinostatentypen gelten können.

Eine genauere Untersuchung betreffs der Gleichmässigkeit der Rotation bei horizontaler Achse wurde bei folgenden Federklinostaten angestellt:

a. Der **Wortmann**sche Klinostat. Von diesen untersuchte ich zwei Exemplare.

Erstens ein gewöhnliches Exemplar des Wortmannschen Klinostaten, angefertigt von der technischen Anstalt von Gebrüder Ungerer in Strassburg und Eigentum des botanischen Institutes in Leiden.

Zweitens ein schwereres Modell des Wortmannschen Klinostaten, für das hiesige botanische Institut angefertigt in der Werkstatt von P. J. Kipp und Söhne, J. W. Giltay Nachfolger in Delft. Es wurde ziemlich genau nach dem Originale kopiert, nur sind alle Teile etwas schwerer und hat zumal die Triebfeder eine grössere Kapazität. Indem das originelle Exemplar im Leidenschen botanischen

---

1) H. Fitting, Unters. üb. den geotr. Reizvorgang. Jahrb. für wiss. Botanik, Bd. 41, 1905, S. 252.

Digitized by Google

Institute nach einmaligem Aufziehen ungefähr 20 Stunden geht, stellt das schwerere Exemplar unbelastet seinen Lauf erst nach 70 Stunden, mit $1^1/_2$ kg belastet nach 75 Stunden ein.

b. Ein gewöhnliches Exemplar des **Pfeffer**schen Klinostaten, grosses Modell, angefertigt in der Werkstatt von E. Albrecht in Tübingen und Eigentum des botanischen Institutes in Utrecht.

Der Wortmannsche Klinostat wurde in erster Linie untersucht. Bei den Versuchen mit horizontaler Achse befestigte ich das Gelenk der Umdrehungsachse an die obere, schnellst drehende der drei Triebzapfen. Die Achse war einerseits in das Gelenk befestigt, andrerseits ruhte sie auf dem Stativ mit den Friktionsrollen. Dem äusseren Ansehen nach war die Rotation ganz gleichmässig. Wenn sie nicht gleichmässig war, könnte dies von den folgenden Ursachen herrühren:

1. Die Feder spannt sich nicht gleichmässig ab, wodurch die Rotation etwas verlangsamt und dann plötzlich wieder beschleunigt wird.

2. Das Gelenk hat einigen Spielraum, wodurch die Achse sich während jeder Rotation zwei Mal etwas verstellt.

3. Das Gelenk ist nicht gerade axial, wodurch die Achse etwas hin und her schwankt.

4. Es giebt einigen Spielraum im Eingriff der Zähne des Gehwerkes, wodurch bei nicht zentrierter Last die Achse in jeder Rotation abwechselnd dem Gehwerk vorangeht und vom Gehwerk geschoben wird, resp. wenn der Schwerpunkt fällt oder steigt.

5. Die Flügelregulation des Gehwerkes ist nicht im stande, ein etwaiges Übergewicht der Last ganz zu kompensieren, wodurch die Achse schneller dreht wenn der Schwerpunkt fällt als wenn er steigt.

Die erstgenannte Ursache ist allerdings anwesend, wie später bewiesen werden soll. Sie beeinträchtigt jedoch den Wert des Instrumentes sehr wenig, denn die unregelmäs-

Digitized by Google

sige Abspannung der Feder verursacht keinen periodischen Fehler. Die plötzlichen Beschleunigungen treten in ganz unregelmässigen Zeitpunkten auf.

Die zweite und dritte Ursache können durch genaue Stellung des Gelenkes vermieden werden, und jedenfalls kann man ihre Wirkung bis auf ein Minimum zurückführen.

Die vierte und fünfte Ursache sind bei dem Wortmannschen Klinostaten nicht zu vermeiden. Insbesondere durch die fünfte Ursache kann die periodische Ungleichmässigkeit der Rotation bis zu einem sehr ansehnlichen Betrage bestehen bleiben. Die zu beschreibenden Versuche werden zeigen, dass diese Ungleichmässigkeit von der exzentrischen Belastung herrührt. Ausserdem wird gezeigt werden, dass die Zentrierungsvorrichtung nicht im stande ist den Schwerpunkt genügend in die Achsenlinie zu stellen. Wenn der Schwerpunkt um einen durch diese Vorrichtung nicht sichtbar zu machenden Betrag von der zentralen Stellung abweicht, ist noch eine ansehnliche periodische Ungleichmässigkeit in der Rotation anwesend. Im dritten Kapitel wird gezeigt, dass diese Ungleichmässigkeit genügt um geotropische Krümmungen in Wurzeln zu verursachen und somit den Zweck des Klinostaten fehlschlagen zu lassen.

Die ersten Versuche, welche die periodische Ungleichmässigkeit der Rotation zeigten, wurden mit dem schweren Modell des Wortmannschen Klinostaten in einer sehr einfachen Weise angestellt.

An dem ausserhalb der Friktionsrollen hervorragenden Achsenende war ein aus perforiertem Zinkblech gearbeitetes Kistchen mittelst einer Klemmschraube befestigt. Das Kistchen war mit feuchten Sägespänen gefüllt, gerade wie bei den geotropischen Versuchen, wenn sich Keimlinge in den Sägespänen befanden. Das Kistchen mit Deckel und Sägespänen hatte ein Gewicht von fast 1,8 kg. Dieses Gewicht dürfte nicht zu gross geachtet werden,

Digitized by Google

Acrostichum spectabile Rac.

Digitized by Google

Digitized by Google

weil Wortmann laut seiner Beschreibung des originellen — leichter gebauten — Instrumentes [1]) bei einer Belastung der horizontalen Achse von 2 kg noch ganz regelmässige und ruhige Bewegung fand.

Der Schwerpunkt wurde mittelst der Zentrierungsvorrichtung so genau wie möglich in die Achsenlinie gestellt. Weil dies bei jedem Versuche geschah, wo nicht der Gegenteil erwähnt wird, werde ich künftig das selbstverständliche Zentrieren nicht immer mehr erwähnen.

Das Uhrwerk war nicht lange bevor aufgezogen worden.

In einer Entfernung von etwas mehr als 2 Meter vor dem rotierenden Klinostaten setzte ich mich mit der Taschenuhr in der Hand. Wenn ich die Seiten des Zinkblechkistchens parallel mit den Seiten des Klinostatengehäuses sah, wurde sogleich die Stellung des Sekundenzeigers notiert. So erhielt ich vier Zeiträume in jeder Umdrehung, während welcher jedesmal eine Viertelumdrehung zurückgelegt war. Diese Viertel wurden nicht in derselben Zeit zurückgelegt: die Zeiträume schwankten unregelmässig, und zeigten ausserdem im Durchschnitt eine periodische Ungleichmässigkeit. Folgendes Beispiel wird dies erläutern.

30 Dezember 1904. Wortmannscher Klinostat, schweres Modell.

Umdrehung.	1	2	3	4	im Durchschnitt.	
1ter Quadrant	195	190	185	187	$189\frac{1}{4}$	$378\frac{3}{4}$ Sek. pro Hälfte.
2ter „	185	190	195	188	$189\frac{3}{4}$	
3ter „	200	200	195	200	$198\frac{3}{4}$	410 „ „ „
4ter „	200	215	215	215	$211\frac{1}{4}$	

Summe der beiden Hälften $788\frac{3}{4}$ Sek.
Unterschied „ „ „ $31\frac{1}{4}$ „

1) J. Wortmann, l. c d. 248.

Digitized by Google

Die erste Hälfte der Umdrehung wurde im Durchschnitt zurückgelegt in 378¾ Sek., die zweite Hälfte in 410 Sek., was bei einer Umlaufzeit von ungefähr 13 Minuten einem Unterschiede von einer halben Minute entspricht.

Dieselbe Methode wurde angewendet, indem die Achse fast unbelastet blieb; es wurde nur ein langer rechteckiger Kartonstreifen auf die Achse befestigt, um die Stellung der Achse mit den Seiten des Klinostatengehäuses vergleichen zu können. Die Rotation erwies sich jetzt als viel gleichmässiger; es war nur eine zweifelhafte periodische Ungleichmässigkeit übrig geblieben.

Diese Methode war jedoch nicht geeignet um geringere Ungleichmässigkeiten in der Rotation aufzufinden. Ausserdem war es sehr ermüdend, an fast demselben Zeitpunkte die Klinostatenachse und den Sekundenzeiger der Taschenuhr ins Auge zu fassen.

Ich befestigte jetzt eine runde Kupferscheibe von 13 cm Durchmesser und 230 g Gewicht auf die Umdrehungsachse. Mit Hülfe der Teilscheibe waren auf der Drehbank acht radiale Furchen in dieser Scheibe eingeritzt in Entfernungen von je 45°. In diesen Furchen waren acht stählerne Nähnadeln festgelötet, welche mit der Spitze 1½ cm ausserhalb der Scheibe hervorragten. Unter der Scheibe, wo die Nadeln beim Rotieren der Klinostatenachse passierten, wurde ein dünnes gebogenes federndes Kupferdrähtchen horizontal befestigt. Die Nadeln berührten erst die konvexe Seite des Drahtes nahe am Gipfelpunkt, drängten es dann etwas bei Seite, bis das Drähtchen wieder frei kam und zurückschnellte. Durch diese Aufstellung des dünnen Drähtchens wurde die Umdrehung der Klinostatenachse sehr wenig von den acht Berührungen in jeder Rotation beeinflusst.

Der Strom eines Elementes wurde nun durch das Gehwerk und die Umdrehungsachse des Klinostaten, durch die Scheibe mit den acht Nadeln, durch das federnde Kupferdrähtchen, durch eine elektrische Klingel, nach dem Elemente

Digitized by Google

zurückgeleiteit. Acht Mal in jeder Rotation wurde der Strom geschlossen und erklang der Laut des Klingels.

Sobald das Klingeln ertönte, wurde die Stellung des grossen Sekundenzeigers einer Uhr notiert. Diese Uhr war aus einer Weckeruhr angefertigt worden um einen grossen Sekundenzeiger mit deutlichem Sekundenzifferblatt bei photographischen Aufnahmen im hiesigen Laboratorium anwenden zu können. Der Sekundenzeiger konnte im erwarteten Zeitpunkt stetig ins Auge gefasst werden, indem die Stellung der Klinostatenachse sich bald darauf durch das Klingeln kund gab.

Diese Methode erlaubte mir, mit grösserer Genauigkeit und weniger Anstrengung die Rotierung des Klinostaten kennen zu lernen. Es zeigte sich von neuem, dass bei belasteter Achse die Ungleichmässigkeit der Umdrehung grösser war als bei unbelasteter, wofür diese zwei Beispiele als Beleg dienen sollen.

2 Januar 1905. Wortmannscher Klinostat, schweres Modell.

Achse nur mit der Kupferscheibe mit den 8 Nadeln belastet.

Umdrehung.	1	2	3	im Durchschnitt.	
1ter Oktant.	91	91	90	$90\frac{2}{3}$	
2ter „	90	88	88	$88\frac{2}{3}$	
3ter „	90	88	89	89	
4ter „	88	87	87	$87\frac{1}{3}$	355 Sek. pro Hälfte.
5ter „	91	90	91	$90\frac{2}{3}$	
6ter „	88	87	89	88	
7ter „	90	91	91	$90\frac{2}{3}$	$359\frac{2}{3}$ „ „ „
8ter „	90	90	89	$89\frac{2}{3}$	
Summe der beiden Hälften				$714\frac{2}{3}$ Sek.	
Unterschied „ „ „				$4\frac{2}{3}$ „	

Hier ist nur eine geringe periodische Ungleichmässigkeit zu erkennen.

Digitized by Google

5 Januar 1905. Wortmannscher Klinostat, schweres Modell.

Achse ausserdem belastet mit einem hölzernen Kistchen mit Sägespänen und *Vicia*-Keimlingen von 600 g Gewicht, befestigt in dem Topfhalter von 470 g Gewicht.

Umdrehung.	1	2	3	4	5	im Durchschnitt.
1ter Oktant	99	97	100	99	97	$98\frac{2}{5}$
2ter „	96	95	95	97	96	$95\frac{4}{5}$
3ter „	92	92	91	93	94	$92\frac{2}{5}$ $379\frac{2}{5}$ Sek. pro Hälfte.
4ter „	95	96	93	92	93	$93\frac{4}{5}$
5ter „	97	96	98	98	98	$97\frac{2}{5}$
6ter „	97	99	101	97	98	$98\frac{2}{5}$
7ter „	97	98	99	97	98	$97\frac{4}{5}$ $392\frac{4}{5}$ „ „ „
8ter „	97	99	99	97	99	$98\frac{1}{5}$

Summe der beiden Hälften $772\frac{1}{5}$ Sek.
Unterschied „ „ „ $13\frac{2}{5}$ „

Hier ist eine deutliche periodische Ungleichmässigkeit zu erkennen.

Zweiter bis fünfter Oktant werden im Durchschnitt in $379\frac{2}{5}$ Sek., sechster bis erster Oktant in $392\frac{4}{5}$ Sek. zuruckgelegt, was einen Unterschied von $13\frac{2}{5}$ Sek. für die beiden Hälften der Rotation ergiebt. Diese Ungleichmässigkeit ist in jeder der fünf kontrollierten Umdrehungen zu erkennen, und die *Vicia*-Keimlinge hatten nach 24 Stunden deutlich auf ihren Einfluss reagiert, wie später beschrieben werden soll.

Es ergab sich alsbald, dass man nicht zu bald, nachdem ein Versuch angefangen hat, mit dem Ablesen der Rotationszeiten anfangen soll. Wenn man die Umdrehungsachse in das Gehwerk eingeschaltet hat, braucht die Feder des Klinostaten einige Zeit um ihre volle Spannung gegen die zu drehende Last zu erreichen. Die Rotationsgeschwindigkeit nimmt dadurch im Anfang stetig zu, bis sie ihre normale Höhe erreicht hat. Folgendes

Digitized by Google

Beispiel einer Ablesung im Anfang eines Versuches wird dies erläutern.

4 Januar 1905. Wortmannscher Klinostat, schweres Modell. Achse mit dem Zinkblechkistchen mit feuchten Sägespänen und *Vicia*-Keimlingen belastet.

Umdrehung.	1	2	3	im Durchschnitt.	
1ter Oktant.	133	113	108	118	
2ter „	134	113	107	118	
3ter „	135	116	111	$120\frac{2}{3}$	
4ter „	140	125	116	127	515 Sek. pro Hälfte.
5ter „	147	136	133	$138\frac{2}{3}$	
6ter „	136	129	121	$128\frac{2}{3}$	
7ter „	118	112	109	113	
8ter „	115	109	104	$109\frac{1}{3}$	$458\frac{1}{3}$ „ „ „

Summe der beiden Hälften $973\frac{1}{3}$ Sek.
Unterschied „ „ „ $56\frac{2}{3}$ „

In den aufeinander folgenden Umdrehungen des nämlichen Oktantes nimmt die Sekundenzahl stetig ab; die Rotation wird also immer geschwinder. Ungeachtet dieses Umstandes ist die periodische Ungleichmässigkeit in jeder Rotation sowohl wie im Durchschnitt ganz deutlich. Dritter bis sechster Oktant brauchen im Durchschnitt zusammen 515 Sek., siebenter bis zweiter Oktant $458^1/_3$ Sek. Wenn die normale Geschwindigkeit erreicht ist, wird dieser Unterschied jedoch geringer sein.

Bei unbelasteter Achse ist die anfängliche Beschleunigung der Rotation ansehnlich geringer und tritt die normale Geschwindigkeit früher ein, wie folgendes Beispiel erläutert.

2 Januar 1905. Wortmannscher Klinostat, schweres Modell.

Achse nur mit der Kupferscheibe mit den 8 Nadeln belastet. Ablesung wieder kurz nachdem die Umdrehungsachse in das Gehwerk geschaltet war.

Digitized by Google

Umdrehung.	1	2	3	4	im Durchschnitt.	
1ter Oktant.	106	99	95	94	$98\frac{3}{4}$	405 Sek. pro Hälfte.
2ter „	115	101	95	98	$102\frac{1}{4}$	
3ter „	115	100	98	95	102	
4ter „	113	99	95	96	$100\frac{3}{4}$	
5ter „	110	97	96	97	100	
6ter „	104	99	94	93	$97\frac{3}{4}$	391 „ „ „
7ter „	104	94	94	97	$97\frac{1}{4}$	
8ter „	104	95	96	96	$97\frac{3}{4}$	

Summe der beiden Hälften 796 Sek.
Unterschied „ „ „ 14 „

Am Ende der dritten Umdrehung ist die Schnelligkeit schon nicht grösser als in der zweiten.

Wenn die normale Geschwindigkeit erreicht ist, ist der Unterschied der beiden Umdrehungshälften viel geringer als in der Tabelle. Die bei nicht mehr zunehmender Geschwindigkeit zurückgelegte dritte und vierte Umdrehung ergeben im Durchschnitt 385 und $379\frac{1}{2}$ Sek. für die Hälften der Umdrehung. Dieser Unterschied ist weniger als die Hälfte des Unterschiedes in der Tabelle.

Für ein genaues Studium der Rotation reicht auch die zuletzt benutzte Methode noch nicht aus. Es haften ihr drei Mängel an. Erstens ist es schwierig, die 8 Nadeln genau in radialer Richtung und in derselben Entfernung von einander zu befestigen. Zweitens ist es sehr ermüdend, eine lange Zeit mit voller Aufmerksamkeit die elektrischen Klingelsignale zu erwarten und schnell die Stellung des Sekundenzeigers abzulesen. Drittens ist eine solche Ablesung zu grob und fällt sie den persönlichen Fehlern des Beobachters anheim.

Um eine gute Einsicht in die Rotierungsweise zu gewinnen, dachte ich mir, die Umdrehung in kleinen Intervallen graphisch zu messen mittelst des Kymographions.

Digitized by Google

Zu diesem Zweck wurden in der Kupferscheibe, nachdem die 8 Nadeln entfernt waren, 50 spitze Zähne gefräst. Wenn die an der Umdrehungsachse befestigte Scheibe rotierte, berührten die Zähne der eine nach dem anderen ein Stückchen einer sehr dünnen Uhrfeder, das unten in einer Stativklemme senkrecht befestigt war.

Der Strom eines Leclanché-Elementes wurde durch den Klinostaten mit Achse und Zahnscheibe, durch die Uhrfeder, durch einen kleinen Elektromagnet, nach dem Elemente zurück geleitet. Das Anker des Elektromagneten war mit einer Schreibvorrichtung versehen, welche eine Linie auf die rotierende Trommel des Kymographions schrieb. Das benutzte Kymographion war verfertigt von E. Zimmerman in Leipzig. Die Umlaufzeit der Trommel war zwischen 2 und 90 Sekunden verstellbar. Die Senkung bei jeder Umdrehung war ebenfalls durch Verwechselung von Zahnrädern verstellbar.

Als Schreibvorrichtung erwies sich nur die übliche federnde Metallspitze brauchbar, welche auf das berusste Glacépapier der Kymographentrommel schrieb. Das Glacépapier wurde mit Leim um die Trommel befestigt und mit einer breiten Petroleumflamme berusst. Die Schreibspitze war ein dünn ausgewälzter 3 mm breiter Streifen von Aluminiumblech, welcher zwischen den Nageln von Daumen und Finger durchgezogen war um dem Ende eine federnde Biegung zu geben. Der Streifen war mit Siegellack am Anker des Elektromagneten befestigt und die Spitze war mit der Schere sehr fein zugespitzt.

Jedesmal wenn ein Zahn der Scheibe einen Kontakt mit der Uhrfeder machte, wurde die Schreibspitze durch den Elektromagnet für einen kurzen Augenblick aufgehoben. Die in den Russ auf dem Glacépapier eingeritzte Linie zeigte also jeden Kontakt eines Zahnes durch eine plötzliche Ablenkung der geraden Richtung.

Die Zeit, welche die Klinostatenachse zwischen je zwei

Digitized by Google

Kontakten bei der Umdrehung brauchte, wurde in der üblichen Weise angegeben durch eine Wellenlinie, welche neben der erstgenannten Linie in den Russ eingeritzt wurde durch ein Chronoskop.

Ich benutzte ein Chronoskop von folgender Form. Einige auf einem schweren Metallfuss befestigten metallenen Stäbe von verschiedener Länge und Dicke waren mit einem verschiebbaren Gewichte versehen, das so gestellt war dass die Stäbe eine Schwingung vollführen konnten in resp. $^1/_2$, $^1/_5$, $^1/_{10}$ und $^1/_{25}$ Sekunde. Die Schwingungen wurden konstant gehalten durch einen Elektromagnet mit Stromschliesser, durch welchen der Strom eines Akkumulators geleitet wurde. Der schwingende Stab bewegte ein Luftkissen, welches die Mareysche Trommel in Bewegung setzte. Diese Trommel schrieb die Zeitkurve neben der „Klinostatenkurve" in den Russ. Die Russpapiere wurden, nachdem sie beschrieben worden waren, mit Hülfe alkoholischer Schellacklösung fixiert.

Die Methode mit dem Kymographion habe ich nur wenige Male beim Wortmannschen Klinostaten angewendet; bei dem Mollschen wurde sie öfters benutzt. Für den Wortmannschen genüge das folgende Beispiel.

3 Februar 1905. Wortmannscher Klinostat, schweres Modell.

Umdrehungsachse belastet mit der Zahnscheibe und dem gewöhnlichen Topfhalter mit einem mit feuchten Sägespänen gefüllten Topf. Der Topf mit Sägespänen wog 680 g, der Topfhalter 470 g. Die Last wurde mit grosser Sorgfalt äquilibriert mit Hülfe der ublichen Zentrierungsvorrichtung. Die Umlaufzeit war etwas mehr als 13 Minuten.

Die 50 Zähne der Scheibe waren mit Inktziffern numeriert, um jegliche Verwirrung zu vermeiden. Die Zeitkurve wurde vom grössten Stabe des Chronoskopes geschrieben, die Wellenlinie auf dem Russpapier zeigte somit halbe

Digitized by Google

Sekunden an, welche die Zeit der Zahnintervallen sehr leicht in Viertelsekunden schätzen liessen.

Die Kymographentrommel machte eine Umdrehung in 4 Minuten und senkte sich bei jeder Umdrehung um 13 mm. Es konnten so auf die Trommel etwas mehr als zwei Umdrehungen der Klinostatenachse registriert werden.

Umdrehung.	1	2	3	4	Umdrehung.	1	2	3	4
Zahn 50—1		16	15¾	16¼	Zahn 25—26		15¾	15¾	
1—2		16¼	17¼	17¾	26 - 27		15	15¾	
2—3		16¾	17	17¾	27—28		16¼	15¾	
3—4		16¾	16¾	16¼	28—29		15¾	16¾	
4—5		16¼	16¾	16¾	29—30		15¾	15¾	
5—6		15¾	16¾	16	30—31		14¾	15¾	
6—7		16¾	16¾	17	31—32		15¼	16	
7—8		17¼	16¾		32—33		15¾	16	
8—9		16¼	16¾		33—34		14¾	14¾	
9—10		17¼	16¾		34—35		15	15¾	
10—11		17	17¾		35—36		15	15¼	
11—12		18	18		36—37		14¾	14¾	
12—13		18¼	18		37—38		15	15¾	
13—14		17¼	18		38—39		15¼	15	
14—15		17¾	17		39—40	15¼	14¾	14¾	
15—16		18¾	18¾		40—41	15	15¾	16	
16—17		15¾	14¼		41—42	15¾	16	15¾	
17—18		16	18		42—43	15	15¾	15¾	
18—19		16¾	16		43—44	14¾	14¾	14¾	
19—20		16	16¾		44—45	15¾	15	15¾	
20—21		17¼	17¾		45—46	16	15¾	15¾	
21—22		17¾	16¾		46—47	15	15	15¾	
22—23		16¾	16¾		47—48	14¾	15	14¾	
23—24		16¾	16¾		48—49	16¾	16¼	16¼	
24—25		16¼	16		49—50	14¼	15¾	15¾	

Es zeigt diese Tabelle, dass dieselben Zahnabstände bei den aufeinander folgenden Umdrehungen meistens in ungefähr derselben Zeit zurückgelegt wurden, so dass die Rotation während des Versuches ziemlich konstant blieb.

Einige Zahnintervalle sind grösser als ihre Nachbarn, z. B. Zahn 15—16, der gerade an den sehr kleinen Intervall

Digitized by Google

16—17 grenzt. Hier ist der Kontakt des Zahnes 16 wahrscheinlich etwas verspätet, doch ist nicht zu denken an eine Ungleichmässigkeit der Zahnabstände. Die Fräsmaschine verursachte keine so grossen Fehler, was auch dadurch bewiesen wird dass in keiner der anderen erhaltenen Kurven der Zahn 15 grösser war als seine Nachbarn.

Die Tabelle zeigt weiter, dass die Zahnintervalle unter sich viele individuellen Unterschiede zeigen und dass die erste Hälfte der Rotation eine viel grössere Zeit in Anspruch genommen hat als die zweite Hälfte. Letzteres wird noch deutlicher, wenn wir die Intervalle zu je fünf aufzählen.

Umdrehung.	1	2	3	4
Zahn 50–5		$81\frac{3}{4}$	$83\frac{1}{4}$	$84\frac{1}{4}$
5–10		83	$83\frac{1}{4}$	
10–15		88	$88\frac{3}{4}$	
15–20		$82\frac{3}{4}$	$83\frac{1}{4}$	
20–25		84	$83\frac{3}{4}$	
25–30		$78\frac{1}{4}$	79	
30–35		75	$77\frac{3}{4}$	
35–40		$74\frac{1}{4}$	$75\frac{1}{4}$	
40–45	$75\frac{3}{4}$	$76\frac{3}{4}$	$77\frac{1}{4}$	
45–50	$76\frac{1}{4}$	$77\frac{3}{4}$	$77\frac{3}{4}$	

Zahn 50—25 ergeben zusammen bei der 2ten Umdrehung $419\frac{3}{4}$ Sek., bei der 3ten Umdrehung 422 Sek. Zahn 25—50 ergeben zusammen bei der 2ten Umdrehung $381\frac{3}{4}$ Sek., bei der 3ten Umdrehung $386\frac{3}{4}$ Sek. Der Unterschied der beiden Hälften ist somit $37\frac{3}{4}$ Sek. resp. $35\frac{1}{4}$ Sek., was einen prozentisch viel grösseren Fehler darstellt als für die meisten Versuche zulässig ist. Und doch konnte mit der Zentrierungsvorrichting die Last nicht noch genauer äquilibriert werden.

Die Methode mit dem Kymographion ist nicht geeignet für eine ausgedehnte Anwendung. Das Zählen der Zeit-

Digitized by Google

kurve, um die Zahnintervalle auf dem Russpapier zu bestimmen ist eine mühsame und langweilige Arbeit. Erst nach einigen Stunden kennt man das Resultat des Zählens, das am besten unter einer guten Lupe im Lupenstativ stattfindet.

Für die noch zu lösenden Fragen über die Beziehung zwischen Übergewicht und ungleichmässiger Drehung und zwischen ungleichmässiger Drehung und physiologischer Reaktion der Keimlinge musste ich mich daher nach einer bequemeren und ungefähr ebenso genauen Methode umsehen. Diese wurde gefunden mit Hülfe der Chronographen, welche mit ihrem Sekundenzeiger Viertel oder Fünftel von Sekunden anzeigen und durch einen Druck auf die Remontoirkrone zu laufen anfangen, resp. gehemmt werden und auf Null zurückspringen.

Ich überzeugte mich zuvor, dass sie ungefähr dieselbe Genauigkeit erreichte wie die graphische Methode. Zu diesem Zweck hatte ich während eines Teiles der mit dem Kymographion registrierten oben beschriebenen Umdrehungen des Klinostaten dieselben Zahnintervalle mit zwei Chronographen bestimmt, welche abwechselnd benutzt wurden. Der Hebel des Elektromagneten der Schreibvorrichtung wurde beim Kontakt eines Zahnes mit einem deutlichen Schlag emporgehoben, indem die in dem Russ eingeritzte Linie plötzlich nach oben abwich. Bei diesem Signal drückte ich auf die beiden Kronen, wodurch die eine Uhr zu laufen anfing, die andere gehemmt und abgelesen wurde. Nach dem Ablesen und Notieren wurde die zweite Uhr durch abermaliges Drücken auf Null zurückgesetzt, um für den folgenden Kontakt fertig zu sein.

Die folgende Tabelle zeigt, dass eine genügende Übereinstimmung zwischen Kymographion und Chronographen anwesend war, und dass somit der persönliche Fehler des zu spät Drückens auf die Kronen kein Hindernis fur diese Methode des Registrierens war.

Digitized by Google

	2te Umdr.		3te Umdr.		4te Umdr.	
	Kym.	Chron.	Kym.	Chron.	Kym.	Chron.
Zahn 50–1			15¾	16	16¼	15¾
1–2			17¼	17¼	17¾	17¾
2–3			17	17	17¾	17¾
3–4			16¾	16¼	16¼	16
4–5			16¾	16¾	16¾	16¾
5–6			16¾	16		
6–7			16¾	16¾		
7–8			16¾	16¼		
8–9			16¾	16¾		
9–10			16¾	16¼		
10–11			17¾	17¾		
11–12			18	17¾		
12–13			18	17¾		
13–14			18	18		
14–15			17	16¾		
15–16			18¾	18¼		
16–17			14¼	14¼		
17–18			18	17¾		
18–19			16	15¾		
19–20			16¾	16¾		
20–21			17¾	17¾		
21–22	17¾	17¾	16¾	16¾		
22–23	16¾	16¼	16¾	16		
23–24	16¾	16¾	16¾	16¾		
24–25	16¼	16	16	15¾		
25–26	15¾	15¾	15¾	15¾		
26–27	15	15	15¾	15¾		
27–28	16¼	16	15¾	15¼		
28–29	15¾	15¾	16¾	16¾		
29–30	15¾	15¾	15¾	15¾		
30–31	14¾	14¾	15¾	15¾		
31–32	15¼	15	16	15¾		
32–33	15¾	15¾	16	16		
33–34	14¾	14¼	14¾	14¾		
34–35	15	15¾	15¾	15¼		
35–36	15	14¾	15¼	15		
36–37	14¾	14¾	14¾	14¾		
37–38	15	14¾	15¾	15¾		
38–39	15¼	15	15	14¾		
39–40	14¾	14¾	14¾	14¾		
40–41	15¾	15¼	16	16		
41–42	16	16	15¾	15¾		
42–43	15¾	15¾	15¾	15¾		
43–44	14¾	14¾	14¾	14		
44–45	15	14¾	15¾	14¾		
45–46	15¾	15¼	15¾	15¾		
46–47	15	14¾	15¾	15¼		
47–48	15	15	14¾	14¾		
48–49	16¼	16¾	16¼	16¼		
49–50	15¾	15¾	15¾	15¼		

Digitized by Google

Im allgemeinen sind die mit den Chronographen gefundenen Werte etwas geringer als die, welche mittelst des Kymographions erhalten wurden. Dies wird dadurch verursacht, dass der Stab des Chronoskopes etwas mehr als zwei Schwingungen pro Sekunde macht. Nur die ersten Chronographenablesungen von Zahn 34, 48 und 50 sind etwas grösser als die Kymographenwerte, was von persönlichen Fehlern herrühren könnte.

Von jetzt an benutzte ich mithin die Chronographen. Die Intervalle wurden nicht mehr zwischen je zwei Zähnen der Scheibe, sondern zwischen je fünf Zähnen bestimmt. Bei jedem fünften Kontakt wurde auf die Kronen der zwei Uhren gedrückt, das beendigte Intervall notiert und die erste Uhr wieder auf Null gestellt.

Die benutzten Chronographen wurden durch zahlreiche Versuche geprüft ob sie dieselbe Regulierung und Regelmässigkeit des Laufens besassen. Sie wurden unter einander verglichen in Zeiträumen von einigen Sekunden bis einigen Stunden, und sie wurden ausserdem verglichen mit den Schwingungen eines langen Pendels. Eine gewisse Zahl dieser Schwingungen wurde z. B. verschiedene Male hinter einander mit derselben Uhr bestimmt, wofür ich Reihen fand wie die folgende: $37^3/_4$, $37^3/_4$, $37^3/_4$, $37^2/_4$, $37^1/_4$, $37^3/_4$, $37^2/_4$, $37^2/_4$, $37^3/_4$, $37^1/_4$, $37^2/_4$ Sekunden. Die Abweichung von + oder — $^1/_4$ Sekunde ist zwar nicht gering, doch kann man sie nur erwarten, erstens wegen des persönlichen Fehlers beim Drucken, zweitens weil die kleinste von dieser Uhr angegebene Zeiteinheit $^1/_4$ Sekunde ist.

Die Methode mit den zwei Chronographen ist von mir vielfach angewendet worden; es wurde mit ihrer Hülfe bewiesen, dass die periodische Ungleichmässigkeit der Rotation genau abhängig war von dem Übergewicht der Last. Ich werde sie die einfache Chronographenmethode nennen.

Als ich später eine noch grössere Genauigkeit brauchte

Digitized by Google

als mit dem Chronographen möglich war, sah ich mich um nach Methoden, welche viel kleinere Zeiträume als Viertelsekunden bestimmen können. Es ist dies eine schwierige Aufgabe, denn die genau zu messenden aufeinander folgenden Zeiträume waren zusammen Stunden lang. Das Kymographion hatte keinen Raum genug auf seiner Trommel und seine Handhabung war zu zeitraubend. Die Streifenapparate der Astronomen, wie das Hippsche Chronograph, würden auch zu viel Zeit nehmen; es würden ganze Haufen des Streifens bewältigt werden müssen. Ich versuchte noch, die Münsterbergsche Uhr anzuwenden, welche in der Psychologie benutzt wird um Reaktionszeiten zu bestimmen. Das Instrument zeigte Hundertstel von Sekunden und war verfertigt von H. Elbs zu Freiburg. Die Uhr lief nach einmaligem Aufziehen 12½ Minuten. Der grosse Sekundenzeiger machte eine Umdrehung in 5 Sekunden, und konnte mittelst eines Hebels in jedem Augenblick gehemmt werden. Das Zifferblatt war in 500 Teilen verteilt.

Ich verglich ausführlich den Lauf dieser Uhr mit einer gut kontrollierten Chronohraphenuhr. Nach zahlreichen Versuchen stellte er sich heraus, dass die Uhr für meinen Zweck ganz untauglich war. Wenn sie schon die Hundertstelsekunden mit einem prozentisch geringen Fehler andeutete, machte sie jedoch in den Sekunden einen prozentisch eben so grossen Fehler. Sie ist also nur brauchbar für ihren eigentlichen Zweck, d. h. die Messung von sehr kleinen Zeiträumen. Grössere Zeiträumen zeigt sie weniger genau als die gewöhnlichen Uhren. Ein einziges Beispiel sei hier genannt. Nachdem die Uhr aufgezogen war, wurde sie dreimal mit dem Hebel gehemmt und wieder in Gang gesetzt, jedesmal nach genau derselben — mit dem Chronographen bestimmten — Zeit von etwas mehr als 4 Minuten. In diesen drei gleich langen Zeiträumen zeigte die Uhr resp. 243,63 Sek., 244,19 Sek. und 243,51 Sek.

Digitized by Google

Ich hatte inzwischen eine Vorrichtung angefertigt um die grosse Reaktionszeitenuhr mittelst eines Elektromagneten zu hemmen oder in Gang zu setzen. Sie gefiel mir so gut, dass ich sie für den Chronographen benutzte, als sie für die grosse Uhr nicht mehr nötig war.

Diese Vorrichtung war in ihrer neuen Form gebaut wie es Fig. 1, A, zeigt. Das Anker 1 des Elektromogneten 2 zieht mittelst der Stange 3 an den Hebel 4, welcher drehbar ist um den Zapfen 5, und der durch eine Feder wieder zurückgedrückt wird. Der Hebel drückt mit der Gummiplatte 6 auf die Krone 7 des Chronographen 8, welcher mit dem untern Rande gegen das Holzblock 9 stützt. Der Elektromagnet hat zwei Eisenkerne von 12 mm dicke und 90 mm Länge, welche in einem schweren viereckigen Eisenstück 10 geschraubt sind. Die Spindeln von Buchsbaumholz haben etwas mehr als 1 mm Wanddicke; die Kragen sind 5 mm dick und 44 mm im Durchmesser. Auf die zwei Spindeln zusammen wurden 81 Meter gewöhnliches Klingelleitungsdraht gewunden, mit 0,85 mm Durchmesser des Kupfers und umsponnen mit Baumwolle. Der Widerstand dieses Drahtes ist ungefähr $3^1/_4$ Ohm, was beim Gebrauch von 3 Akkumulatoren einem strom von 1,85 Ampere entspricht. Dieser Strom reichte aus um die Krone des Chronographen genügend einzudrücken; doch habe ich mehrmals einen etwas stärkeren Strom benutzt um eine ganz sichere Wirkung zu erzielen.

Der Stromkreis des Elektromagneten wird von dem rotierenden Klinostaten, Fig. 1, *B*, geschlossen mittelst eines Relais. Dieses besteht aus der Wippe, welche auf Fig. 1, *C*, abgebildet ist. Die kleine eiserne, leicht drehbare Wage 14 trägt an ihrem einem Ende die Platinspitze 15. Diese Spitze taucht in einer eisernen Wanne 16 mit Quecksilber 17, wenn die Wage nach dieser Seite umkippt. Unter diesem Arme der Wage steht ein kleiner Elektromagnet 18,

Digitized by Google

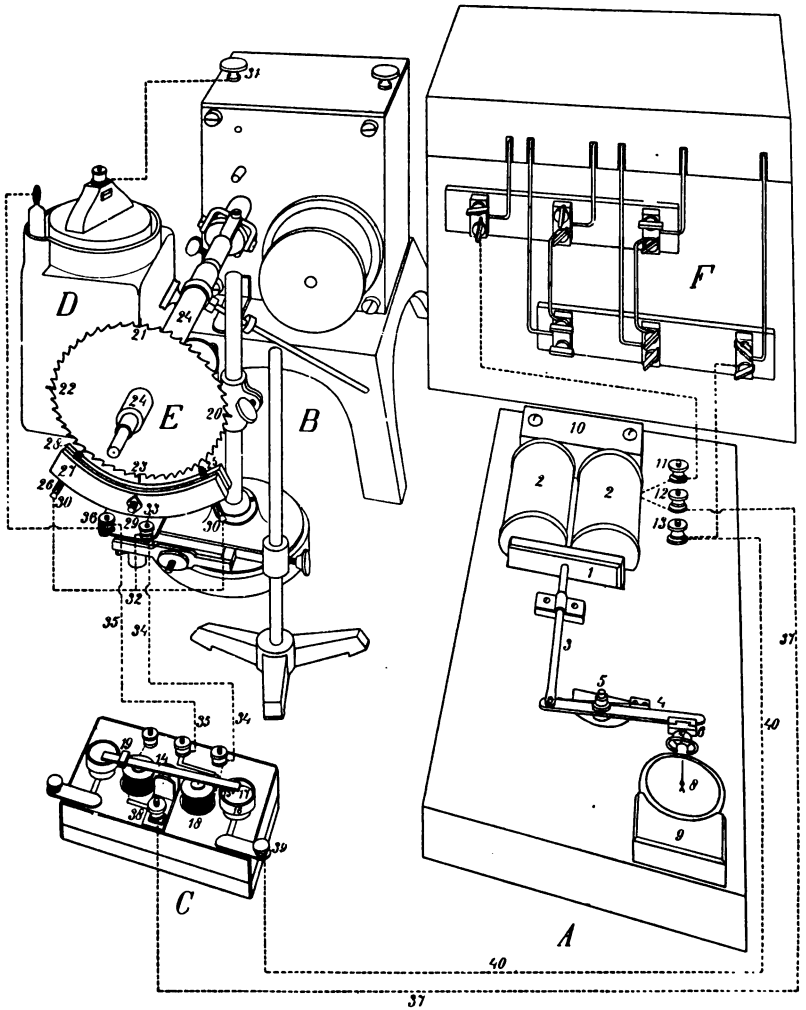


Fig. 1. Aufstellung für die automatische Chronographenmethode zur Bestimmung der Klinostatendrehung.

Digitized by Google

der die Wage kippen kann und dadurch den Stromkreis durch Platinspitze und Quecksilberwanne schliesst. Sobald der Strom des kleinen Elektromagneten aufhört, kippt die Wage jedoch zurück, weil der andere Arm schwerer ist durch das verschiebbare Kupferstück 19.

Die Wippe wurde für andere Zwecke symmetrisch gebaut und ist hier in dieser vollständigen Form abgebildet.

Behufs des Gebrauches als Relais muss das verschiebbare Kupferstück nicht weiter vom Drehpunkt der Wage festgeschraubt werden als nötig ist um die Wage nach links zu kippen. Der Strom eines Elementes genügt dann um die Wage mittelst des Elektromagneten 18 rechts nach unten zu ziehen. Der Stromkreis des grossen Elektromagneten, der für die Handhabung des Chronographen dient, is durch die Wage und Quecksilberwanne geleitet und wird mithin geschlossen, wenn ein Strom durch den kleinen Elektromagnet 18 geht. Dieser Strom kommt von dem Leclanché-Element, Fig. 1, *D*, und wird vom Klinostaten bei jeder Viertelumdrehung der Achse zwei Mal geschlossen.

Zu diesem Zweck sind in der früher beschriebenen Zahn scheibe, Fig. 1, *E*, vier gleich lange Platinspitzen 20, 21 22, 23 befestigt, welche genau in 90° Entfernung von einander stehen und am Umkreis der Zahnspitzen hervor ragen. Unter der Scheibe *E*, die an der Umdrehungsachse 24 befestigt ist, stehen zwei mit Quecksilber gefüllte Glasröhrchen 25 und 26, welche zwischen zwei Holzstreifen 27 und 28 an das Kupferstück 29 geklemmt sind.

Die zwei Röhrchen sind auswendig $3^1/_2$, inwendig $2^1/_2$ mm im Durchmesser und 35 mm lang. Sie stehen in einer Entfernung von 77° und in der Richtung zweier Scheibenradien. Sie sind unten geschlossen durch ein zylindrisches Körkchen 30, das von einem Silberdraht durchbohrt ist. Die Körkchen können ein wenig hin und her geschoben werden um die Quecksilbertropfen, die oberhalb der Mündung der Röhrchen hervorragen, su vergrössern oder zu

Digitized by Google

verkleinern. Die beiden Röhrchen werden so dicht bei der Scheibe gestellt, dass die vier Platinspitzen gerade durch die Quecksilbertropfen oben an den Röhrchen streichen.

Wenn eine Spitze den Tropfen des Röhrchens 25 berührt, geht der Strom vom Leclanché-Elemente *D* nach der Klemmschraube 31, durch die Klinostatenachse 24 und die Scheibe E, durch die genannte Spitze, durch das Quecksilber, den Leitungsdraht 32, die Klemmschraube 33, den Leitungsdraht 34, den kleinen Elektromagnet 18, den Leitungsdraht 35, die isolierte Klemmschraube 36, nach dem Elemente *D* zurück.

Die Wage wird also für einige Augenblicke umgekippt, der Stromkreis der 3 Akkumulatoren, Fig. 1, *F*, durch die Quecksilberwanne 16 u. s. w. geschlossen und der Chronograph fängt an zu gehen. Selbstverständlich geschieht dies fast sogleich nach der Berührung des Tropfens.

Der letztgenannte Stromkreis geht von den Akkumulatoren *F* nach der Klemmschraube 11, durch den Elektromagnet 2, die Klemmschraube 12, den Leitungsdraht 37, die Klemmschraube 38, die Wage 14, die Platinspitze 15, das Quecksilber 17, die Wanne 16, die Klemmschraube 39, den Leitungsdracht 40, die Klemmschraube 13, nach den Akkumulatoren *F* zurück.

Wenn die Spitze 77° weiter rotiert hat und den Tropfen des Röhrchens 26 berührt, wird die Wage wieder in ganz derselben Weise gekippt und der Chronograph gehemmt. Die Stellung des Sekundenzeigers wird dann notiert und der Zeiger durch einen Druck mit der Hand auf Null zurückgestellt. Bald darauf hat wieder die folgende Spitze den ersten Tropfen erreicht und wiederholt sich alles von neuem, vier Mal in jeder Umdrehung.

Bei der Untersuchung von schnelleren Rotationen war kaum Zeit genug um die Uhr jedesmal abzulesen und wieder auf Null zu stellen. Dann wurde ein dünnes Federchen oder ein drittes Quecksilberröhrchen links neben dem Röhrchen 26 aufgestellt. Die dadurch verursachte

Digitized by Google

dritte Berührung der Platinspitze stellte den Zeiger dann wieder automatisch auf Null. — Der sehr plötzliche Druck des Elektromagneten verursachte im Anfang biswielen, dass der Sekundenzeiger sich von seinem Zapfen löste. Der Zeiger musste daher sehr fest auf den Zapfen gedrükt werden.

Die beschriebene Methode wurde bei den späteren Versuchen ausschliesslich benutzt; ich nenne sie die automatische Chronographenmethode.

Ihre Vorteile über alle anderen Methoden sind:

1. Es wird nur ein gut kontrollierter Chronograph gebraucht, anstatt zwei, welche einen kleinen Unterschied des Ganges zeigen könnten.

2. Die Ablesung unterliegt nicht mehr dem persönlichen Fehler.

3. Es brauchen durch verminderte Aufmerksamkeit keine Beobachtungen aus einer längeren Reihe zu fehlen, was bei der einfachen Chronographenmethode leicht vorkommt.

4. Man kann längere Beobachtungsreihen machen, weil man zu gleicher Zeit andere leichte Arbeiten tun kann. Die längere Reihe eliminiert die zufälligen Abweichungen in der Drehung, und gewinnt dadurch eine grössere Genauigkeit des durchschnittlichen Wertes.

5. Die Entfernung der vier Platinspitzen an der Scheibe braucht nicht mehr peinlich genau dieselbe zu sein. Von jedem Quadrant wird der grössere Teil (etwa 77°) bestimmt zwischen den zwei Kontakten, die immer dieselbe Stellung behalten. Die Zeiträume, worin dieser Abstand von den vier Spitzen zurückgelegt wird, sind somit unter sich ganz vergleichbar und stellen ein gutes Maass dar für die Schnelligkeit der Klinostatendrehung in den vier Quadranten.

6. Der Quecksilbertropfen verursacht beim Kontakt keine Reibung, die den Lauf des Klinostaten beeinflussen könnte.

Nachdem jetzt die benutzten Methoden erklärt sind, müssen wir daran schreiten, die erhaltenen Resultate mit-

Digitized by Google

zuteilen. Insofern noch Abweichungen der angegebenen Methoden Anwendung fanden, werden diese an den betreffenden Stellen besprochen.

Schon bei der Anwendung der einfachsten, im Anfang beschriebenen Methoden hat sich herausgestellt, dass die Umdrehung der Klinostatenachse oft eine Ungleichmässigkeit zeigte, welche sich gerade so verhielt als wenn die Regulierung des Gehwerkes von einem Übergewicht beeinflusst wäre. Dies ist in Wirklichkeit die Erklärung der periodischen Ungleichmässigkeit. Wenn der Schwerpunkt steigt, wird die Umdrehung verlangsamt. Wenn er sich senkt, wird die Umdrehung beschleunigt. Die folgenden Versuche dienen als Beleg dazu.

6 Febr. 1905. Wortmannscher Klinostat, schweres Modell. Achse belastet mit der Scheibe mit 50 Zähnen, mit dem Topfhalter der 470 g wägt, und einem Topf mit feuchten Sägespänen der 570 g wägt. Last zentriert; Stift der Zentrierungsvorrichtung in der Richtung von Zahn 3; das Gewicht von 60 g unmittelbar an die Achse geschoben. Einfache Chronographenmethode, also mit zwei Chronographen, die mit der Hand abwechselnd in Bewegung gesetzt und gehemmt wurden beim Kontakt eines jeden fünften Zahnes der Scheibe (wie oben beschrieben wurde). Kontaktfeder gerade in der Mitte unter der Scheibe.

Umdrehung.	1	2	3	im Durchschnitt.	
Zahn 50– 5	81	79	$78\frac{3}{4}$	$79\frac{7}{12}$	395 Sek. pro Hälfte.
5–10	$79\frac{3}{4}$	77	77	$77\frac{10}{12}$	
10–15	85	$81\frac{3}{4}$	$82\frac{1}{4}$	83	
15–20	$76\frac{3}{4}$	$77\frac{1}{4}$	$77\frac{1}{4}$	77	
20–25	78	$77\frac{1}{4}$	$77\frac{3}{4}$	$77\frac{7}{12}$	
25–30	$73\frac{1}{4}$	$73\frac{3}{4}$	$74\frac{1}{4}$	$73\frac{9}{12}$	$360\frac{1}{6}$ Sek. pro Hälfte.
30–35	73	$72\frac{1}{4}$	$72\frac{1}{4}$	$72\frac{6}{12}$	
35–40	$71\frac{3}{4}$	$69\frac{1}{4}$	69	$69\frac{11}{12}$	
40–45	$73\frac{1}{4}$	72	$71\frac{1}{4}$	$72\frac{2}{12}$	
45–50	72	$72\frac{3}{4}$	71	$71\frac{10}{12}$	

Summe der beiden Hälften $755\frac{1}{6}$ Sek.
Unterschied „ „ „ $34\frac{5}{6}$ „

Digitized by Google

Aus dieser Tabelle ergiebt sich, dass die Bewegung am langsamsten ist wenn Zahn 12 bis 13 die Kontaktfeder passiert ist. Dies könnte darauf hinweisen, dass der Schwerpunkt der Last in diesem Augenblick steige und ungefähr in der horizontalen Ebene durch die Achse stehe. Der Schwerpunkt läge dann ungefähr bei Zahn 50. Die eine Hälfte der Umdrehung dauert 34⅚ Sek. länger als die andere Hälfte.

Ich verstellte den Klinostaten nun ein weinig, so dass die Umdrehungsachse nicht mehr ganz genau in der Verlängerung des Triebzapfens stand. Alle Umstände übrigens wie oben.

Umdrehung.	1	2	3	im Durchschnitt.	
Zahn 50 – 5		$79\frac{3}{4}$	$77\frac{3}{4}$	$78\frac{3}{4}$	
5 – 10		78	77	$77\frac{3}{4}$	
10 — 15		$82\frac{3}{4}$	$83\frac{3}{4}$	83	$394\frac{3}{4}$ Sek pro Hälfte.
15 – 20		78	$77\frac{3}{4}$	$77\frac{3}{4}$	
20 – 25		78	78	78	
25 – 30	74	73	$74\frac{1}{4}$	$73\frac{3}{4}$	
30 – 35	$73\frac{1}{4}$	71	$73\frac{1}{4}$	$72\frac{3}{4}$	
35 – 40	71	$70\frac{1}{4}$	70	$70\frac{5}{12}$	$359\frac{11}{12}$ „ „ „
40 – 45	$71\frac{3}{4}$	71		$71\frac{3}{8}$	
45 – 50	72	$71\frac{3}{4}$		$71\frac{7}{8}$	

Summe der beide Hälften $754\frac{2}{3}$ Sek.
Unterschied „ „ „ $34\frac{5}{6}$ „

Die Tabelle zeigt, dass die Rotierung fast keinerlei Veränderung erfahren hat durch die vorgenommene Verstellung.

Ich verstellte nun den Klinostaten derart, dass der Triebzapfen ungefähr einen Winkel von 176° oder 177° mit der Umdrehungsachse machte und die zwei Arme des Gelenkes mithin einen deutlichen Winkel bildeten. Alle Umstände übrigens wie oben.

Digitized by Google

Umdrehung.	1	2	3	im Durchschnitt.
Zahn 50 – 5	$88\frac{3}{4}$	$89\frac{1}{4}$	$86\frac{3}{4}$	$88\frac{1}{12}$
5 – 10	$89\frac{1}{4}$	$89\frac{1}{4}$	$84\frac{3}{4}$	$87\frac{9}{12}$
10 – 15	96	92		94 } $447\frac{1}{12}$ Sek. pro Hälfte.
15 – 20	90	87		$88\frac{3}{4}$
20 – 25	$90\frac{1}{4}$	$87\frac{1}{4}$		$88\frac{3}{4}$
25 – 30	$85\frac{1}{4}$	$83\frac{1}{4}$		$84\frac{1}{4}$
30 – 35	84	$80\frac{1}{4}$		$82\frac{1}{6}$
35 – 40	$82\frac{1}{4}$	79		$80\frac{5}{6}$ } $408\frac{9}{12}$ „ „ „
40 – 45	$82\frac{3}{4}$	$78\frac{3}{4}$		$80\frac{3}{4}$
45 – 50	$83\frac{1}{4}$	$79\frac{1}{4}$		$81\frac{1}{4}$

Summe der beide Hälften $855\frac{5}{6}$ Sek.
Unterschied „ „ „ $38\frac{1}{3}$ „

Aus dieser Tabelle ergiebt sich, dass bei der schiefen Stellung des Gelenkes die Umdrehung viel länger dauert. Offenbar entsteht in dieser Stellung eine Reibung, welche den Gang des Gehwerkes verlangsamt. Die durchschnittliche Umlaufzeit, welche im vorigen Versuch noch 754⅔ Sek. war, ist jetzt zu 855⅚ Sek. gestiegen, also mit 101⅙ Sek. vermehrt. Doch nimmt in der Tabelle die Schnelligkeit wieder zu durch stärkere Spannung der Triebfeder.

Ungeachtet dieser Veränderung ist die Art der Umdrehung jedoch ganz dieselbe geblieben. Noch immer ist die langsamste Drehung bei Zahn 10 bis 15, indem der Unterschied der beiden Umdrehungshälften 38⅓ Sek. beträgt. Das Gelenk kann also nicht etwa Ursache der periodischen Ungleichmässigkeit sein, vielmehr hat es darauf nicht den mindesten Einfluss.

Ich stellte die Umdrehungsachse wieder genau in der Verlängerung des Triebzapfens und entfernte nun das Gewicht vom Stab der Zentrierungsvorrichtung. Die Achse blieb jetzt bei ausgeschaltetem Gehwerk noch in allen Stellungen stehen, so dass keine bestimmte Richtung des Schwerpunktes zu erkennen war. Doch war dies vor dem An-

Digitized by Google

fang dieser Versuchsreihe nicht der Fall. Damals war der Schwerpunkt der noch nicht zentrierten Last bei Zahn 28, weshalb der Stift nach der entgegengesetzten Seite, d. h. nach Zahn 3 gerichtet und mit dem Zentrierungsgewicht versehen wurde. Der Schwerpunkt musste nach Herabnahme des Gewichtes jetzt noch bei Zahn 28 liegen, und wenn die frei bewegliche Achse sich nicht mehr so drehte dass Zahn 28 unten kam, so konnte dies vom Wasserverlust herrühren den der Topf mit den feuchten Sägespänen inzwischen erlitten hatte.

Einige Stunden nachdem das Gehwerk wieder eingeschaltet war — und die Feder sich also wieder mit normaler Kraft gegen die Last gespannt hatte —, bestimmte ich wieder die Art der Rotation. 7 Februar 1905. Wortmannscher Klinostat, schweres Modell.

Umdrehung.	1	2	3	4	im Durchschnitt.	
Zahn 50— 5	$76\frac{1}{4}$	76	75	$76\frac{1}{4}$	$75\frac{14}{16}$	
5—10	$72\frac{1}{4}$	74	$72\frac{3}{4}$	$72\frac{2}{4}$	$72\frac{14}{16}$	
10—15	71	70	71	$71\frac{1}{4}$	$70\frac{13}{16}$	$356\frac{1}{16}$ Sek. pro Hälfte.
15—20	$70\frac{2}{4}$	$69\frac{3}{4}$	$68\frac{3}{4}$	$69\frac{3}{4}$	$69\frac{11}{16}$	
20—25	$70\frac{3}{4}$	70	68	$70\frac{1}{4}$	$69\frac{12}{16}$	
25—30	$74\frac{3}{4}$	$72\frac{1}{4}$	72	$72\frac{3}{4}$	$72\frac{15}{16}$	
30—35	77	$71\frac{3}{4}$	$74\frac{1}{4}$	76	$74\frac{12}{16}$	
35—40	$80\frac{1}{4}$	77	77	$77\frac{3}{4}$	78	$383\frac{5}{16}$ Sek. pro Hälfte.
40—45	$77\frac{2}{4}$	76	$76\frac{2}{4}$	78	77	
45—50	$77\frac{2}{4}$	78	$77\frac{1}{4}$	78	$77\frac{11}{16}$	

Summe der beiden Hälften $739\frac{3}{8}$ Sek.
Unterschied „ „ „ $27\frac{1}{4}$ „

Die Tabelle zeigt sofort, dass die Stelle der langsamsten Bewegung nicht mehr dieselbe ist. Die Hälfte von Zahn 5 bis 30 wird in $356^1/_{16}$ Sek., von Zahn 30 bis 5 in $383^5/_{16}$ Sek. zurückgelegt. Dies könnte darauf hinweisen, dass der Schwerpunkt der jetzigen Belastung die horizontale Ebene steigend passiert habe wenn die Mitte der langsamen Hälfte (d. i. Zahn 42 bis 43) die Kontaktfeder passierte.

Digitized by Google

Der Schwerpunkt läge dann ungefähr bei Zahn 30. Dies versteht sich ganz gut mit den oben erwähnten Erörterungen, aus welchen es sich herausstellte, dass der Schwerpunkt ungefähr bei Zahn 28 lag. Wir können daher schon jetzt als wahrscheinlich annehmen, dass die periodische Ungleichmässigkeit verursacht wird von dem Übergewicht der Last, wenn auch dieses Übergewicht sich gar nicht verrät wenn die Achse freigestellt wird.

Einen weiteren Beweis dafür wurde in folgender Weise geliefert. Die Umdrehungsachse mit Gelenk, Zahnscheibe, Zentrierungsstift ohne Gewicht, Topfhalter und Topf mit Sägespänen wurden in ihrem Zusammenhang vom Klinostaten abgenommen und in derselben Weise an den übereinstimmenden Triebzapfen des originellen Exemplars des Wortmannschen Klinostaten befestigt. Genügend lange Zeit nach dem Einschalten des Gehwerkes wurde die Rotation wieder bestimmt mittelst der einfachen Chronographenmethode.

Umdrehung.	1	2	3	4	5	im Durchschnitt.	
Zahn 50– 5		$66\frac{3}{4}$	63	65	$62\frac{2}{4}$	$64\frac{5}{16}$	
5–10		$60\frac{1}{4}$	$61\frac{2}{4}$	$61\frac{1}{4}$	$65\frac{2}{4}$	$62\frac{3}{16}$	
10–15		$58\frac{1}{4}$	$60\frac{1}{4}$	59	60	$59\frac{6}{16}$	$302\frac{2}{16}$ Sek. pro Hälfte.
15–20		$58\frac{2}{4}$	59	$57\frac{3}{4}$	$57\frac{1}{4}$	$58\frac{2}{16}$	
20—25		62	$57\frac{3}{4}$	59	$60\frac{2}{4}$	$59\frac{13}{16}$	
25–30		$61\frac{2}{4}$	$61\frac{2}{4}$	$63\frac{2}{4}$	$63\frac{3}{4}$	$62\frac{9}{16}$	
30–35		64	65	$65\frac{2}{4}$	66	$65\frac{2}{16}$	
35–40	$65\frac{1}{4}$	$67\frac{1}{4}$	$67\frac{2}{4}$	$72\frac{3}{4}$		$68\frac{8}{16}$	$331\frac{3}{16}$ Sek. pro Hälfte.
40–45	$65\frac{3}{4}$	$70\frac{1}{4}$	$66\frac{3}{4}$	$66\frac{3}{4}$		$67\frac{5}{16}$	
45–50	$64\frac{3}{4}$	$67\frac{3}{4}$	66	$66\frac{2}{4}$		$66\frac{4}{16}$	

Summe der beiden Hälften $633\frac{1}{4}$ Sek.
Unterschied „ „ „ $29\frac{1}{8}$ „

Die Tabelle zeigt, dass die Art der Rotation ganz dieselbe geblieben; nur die totale Umlaufzeit ist bei diesem Klinostaten bedeutend geringer. Die langsamste und die schnellste

Digitized by Google

Hälfte der Umdrehung sind in Bezug auf die Zähne genau so orientiert wie beim ersten Instrumente, und der Unterschied der beiden Hälften ist sogar fast der nämliche: 27¼ Sek. resp. 29⅛ Sek. Die periodische Ungleichmässigkeit wird also in keinerlei Weise vom Gehwerk selbst des Klinostaten verursacht. Vielmehr ist nur die exzentrische Belastung der Umdrehungsachse ihre Ursache.

Die Umdrehungsachse und die daran befestigten Teile wurden jetzt wieder in ihrem Zusammenhang vom Wortmannschen Klinostaten abgenommen und an die langsame Achse des horizontal gestellten Pfefferschen Klinostaten befestigt. Das Gelenk des Wortmannschen wurde jedoch verwechselt für das Gelenk des Pfefferschen selbst, weil erstgenanntes nicht gut um den Triebzapfen passte. Der Trieb des Regulators wurde auf den äusseren Radkranz des Kronrades geschoben und die Windflügel so gestellt, dass die Umlaufzeit ungefähr so gross war wie bei den vorigen Versuchen. Mit den Ablesungen mittelst der einfachen Chronographenmethode wurde angefangen genügend lange nachdem der Klinostat in Gang gesetzt war.

8 Februar 1905.

Umdrehung.	1	2	3	4	5	im Durchschnitt.	
Zahn 50—5		$67\frac{1}{4}$	$64\frac{2}{4}$	$68\frac{1}{4}$	$65\frac{2}{4}$	$66\frac{6}{16}$	
5—10		$65\frac{3}{4}$	65	$67\frac{3}{4}$	$64\frac{3}{4}$	$65\frac{13}{16}$	
10—15		$64\frac{1}{4}$	64	64	$64\frac{1}{4}$	$64\frac{2}{16}$	$325\frac{7}{16}$ Sek. pro Hälfte.
15—20		63	64	$65\frac{2}{4}$	$64\frac{3}{4}$	$64\frac{5}{16}$	
20—25	66	$64\frac{2}{4}$	65	65		$65\frac{2}{16}$	
25—30	67	$64\frac{3}{4}$	67	$65\frac{2}{4}$		$66\frac{1}{16}$	
30—35	$68\frac{1}{4}$	$66\frac{2}{4}$	67	65		$66\frac{11}{16}$	
35—40	$70\frac{2}{4}$	$66\frac{1}{4}$	70	$65\frac{3}{4}$		$68\frac{2}{16}$	$336\frac{7}{16}$ Sek. pro Hälfte.
40—45	$68\frac{1}{4}$	67	69	$65\frac{2}{4}$		$67\frac{7}{16}$	
45—50	$68\frac{2}{4}$	66	$69\frac{3}{4}$	67		$67\frac{13}{16}$	

Summe der beiden Hälften $661\frac{7}{8}$ Sek.
Unterschied „ „ „ 11 „

Es zeigt die Tabelle, dass auch auf dem anders konstruierten Pfefferschen Klinostaten die Orientierung der periodischen Ungleichmässigkeit in Bezug auf die Zähne wieder dieselbe geblieben ist. Nur ist der Unterschied der beiden Hälften um mehr als die Hälfte herabgesunken, was davon herrühren könnte, dass der Pfeffersche Klinostat eine kräftigere Feder besitzt. Es wurden noch einige weiteren Versuche mit dem Pfefferschen Klinostaten angestellt, welche alle darauf hinwiesen, dass nur die Exzentrizität der Belastung die periodische Ungleichmässigkeit der Rotation verursachte.

Um eine endgültige Entscheidung zu treffen, musste ich die Stellung der Schwerpunktes der Belastung genau bestimmen können, diese Stellung willkürlich ändern und jedesmal die Art der Rotation so genau wie möglich bestimmen.

Wir haben schon gesehen, dass die Zentrierungsvorrichtung des Wortmannschen Klinostaten nich ausreichte um eine geringe Exzentrizität zu entdecken. Der Pfeffersche Klinostat besitzt eine noch weniger gute Zentrierungsvorrichtung. Man kann seine Umdrehungsachse nur frei vom Gehwerk stellen indem man die Klemmschraube des Gelenkes zurückdreht. Die Exzentrizität der Belastung, welche durch die Zentrierungsvorrichtung mit Stift und Gewicht aufgehoben werden soll, muss also die Reibung zwischen dem Gelenk und der gelockerten Achse überwinden um die niedrigste Stellung einnehmen zu können. Diese Reibung ist immer noch so gross, dass ein ziemlich ansehnliches Übergewicht von ihr versteckt wird. Ich bestimmte darum von jetzt an den Schwerpunkt der belasteten Umdrehungachse, indem ich diese auf zwei Paar Friktionsrollen legte; es wurden dazu 2 Stative mit Friktionsrollen benutzt, welche den Klinostaten beigegeben werden. In dieser Weise ist eine geringe Exzentrizität der Belastung zu entdecken und mit der Zentrierungsvorrichtung zu kompensieren.

Digitized by Google

Obwohl bei dem Wortmannschen Klinostaten die freigestellte Achse mit viel weniger Reibung drehen kann, ist doch auch hier eine kleine Exzentrizität nicht aufzufinden. Es wurde darum auch bei ihr in den folgenden Versuchen der Schwerpunkt der aus dem Gelenk genommenen Umdrehungsachse mit Hülfe der zwei Paare Friktionsrollen bestimmt.

Wenn das äussere Ende der Achse nicht durch den Topfhalter eingenommen war, bestimmte ich den Schwerpunkt meistens in einer noch genaueren Weise. Die Achse hatte an ihren beiden Enden eine punktförmige Aushöhlung, mit deren Hülfe sie auf der Drehbank abgedreht worden war. Mit diesen beiden Punkten wurde sie zwischen zwei Nadeln gestellt, wodurch die Reibung bei der Drehung bis auf ein Minimum zurückgeführt war.

Eine geringe Exzentrizität wird nur eine geringe periodische Ungleichmässigkeit der Rotation verursachen. Um diese doch genau zu bestimmen, benutzte ich von jetzt an die automatische Chronographenmethode, welche in bequemer Weise lange und genaue Ablesungsreihen ergab. An die Achse wurde also die Zahnscheibe (Fig. 2) mit den vier gleich langen Platinspitzen befestigt, welche letzteren die Scheibe in vier Quadranten verteilten; Zahn 50 bis 21½, 12½ bis 25, 25 bis 37½ und 37½ bis 50 [1]) Die Umdrehungsachse wurde mit Hülfe einer Wasserwage genau horizontal gestellt. Die zwei Röhrchen wurden in einer Entfernung von 77° symmetrisch zur vertikalen Linie so gestellt, dass die vier Plantinspitzen die Quecksilbertropfen nach einander berührten. Nachdem das Gehwerk des Klinostaten eingeschaltet war, wartete ich etwa eine Stunde, damit die Feder sich normal gegen die Belastung gespannt hätte. Dann fing ich mit den Ablesungen des Chronographen an und setzte sie so lange fort, bis

1) Der Kürze wegen erlaube ich mir die Ausdrücke „Zahn 12½" u. s. w. Die Nummern der Zähne und Stifte sind im folgenden stets mit Fig. 2 zu vergleichen.

Digitized by Google

der Charakter der Rotation sich deutlich gezeigt hatte.

Die ersten Versuche wurden mit dem originellen Exemplar des Wortmannschen Klinostaten angestelt. Anf der Achse war die Zentrierungsvorrichtung festgeschraubt, mit dem Stift nach Zahn 50 der Scheibe. Die Achse mit Zahnscheibe und Zentrierungsvorrichtung (ohne Gewicht auf dem Stift) zeigten, zwischen den zwei Nadeln gestellt, den Schwerpunkt nach Zahn 43. Es rührte dies davon her, dass die Schraube des Ringes der Vorrichtung nicht dem Stift gegenüber steht, sondern 90° davon entfernt ist. Der Schwerpunkt der Zentrierungsvorrichtung an sich liegt dadurch irgendwo zwischen Schraube und Stift, in unserem Falle zwischen Zahn 37 und 50, das ist in der Tat bei Zahn 43. Ich befestigte jetzt zwei Quetschhähne auf die Achse gegenüber Zahn 43, ungefähr in der Richtung von Zahn 18. Zwischen den zwei Nadeln gestellt zeigte die Achse jetzt noch ein ganz schwaches Übergewicht nach Zahn 50, in der Richting des Stiftes der Zentrierungsvorrichtung.

Ein Gewichtchen von 7,7 g wurde jetzt auf den Stift geschoben; das kupferne Gewichtchen war zylinderförmig und von geringer Höhe. Das Loch in dem Gewichtchen war so eng, dass die Reibung zur Befestigung genügte. Es wurde in einer Entfernung von 50 mm von der Umdrehungsachse auf den Stift gestellt. Diese Entfernung habe ich immer gemessen vom Umkreis der Achse bis an die untere Fläche des Gewichtes; der Radius der Achse war 9½ mm, die hälbe Höhe des zylindrischen Gewichtchens 3 mm, so dass die Mitte des Gewichtchens in solchem Falle $50 + 9\frac{1}{2} + 3 = 62\frac{1}{2}$ mm von der Achsenlinie entfernt war. Die Achse wurde wieder in das Gelenk befestigt, und zeigte so, wenn sie frei vom Gehwerk gestellt wurde, ein merkbares Übergewicht nach Zahn 50. Nach einiger Zeit fing ich die Ablesungen mit der automatischen Chronographenmethode an. Wie oben gesagt,

Digitized by Google

steht der Platinstift 1 in der Mitte zwischen Zahn 12 und 13, Stift 2 bei Zahn 25, Stift 3 zwischen Zahn 37 und 38, Stift 4 bei Zahn 50. In den Tabellen bodeutet „Stift 1" die Zeit, in welcher Stift 1 vom ersten bis zum zweiten Quecksilberkontakt rotiert ist. In der Mitte dieser Zeit war also Zahn 12½ nach unten gerichtet, Zahn 25 nach rechts, Zahn 50 nach links. Der gebrauchte Chronograph zeigte Fünftel von Sekunden an. Ich liess den Klinostaten etwas schneller drehen als in den früher beschriebenen Versuchen, indem ich die Windflügel etwas verstellte.

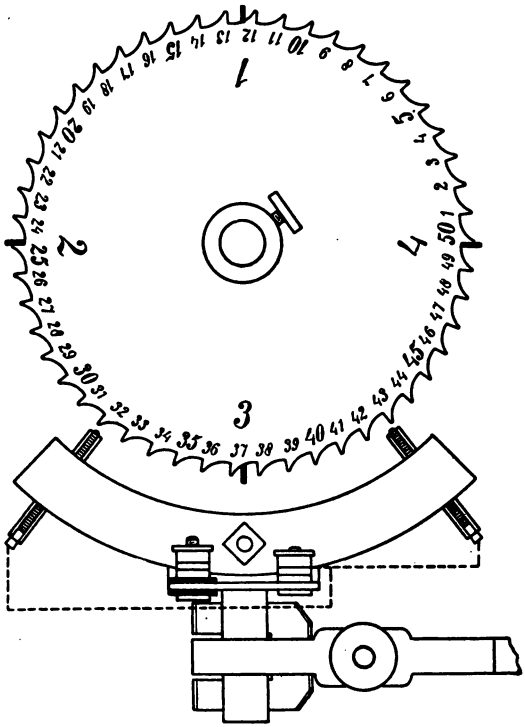


Fig. 2.

Die Zahnscheibe mit Kontaktvorrichtung für die Federklinostaten. (½ der natürl. Grösse.)

Digitized by Google

17 April 1905.

Umdrehung.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Stift 1		$93\frac{3}{5}$	$95\frac{4}{5}$	$94\frac{2}{5}$	$95\frac{4}{5}$	93	$92\frac{4}{5}$	$96\frac{2}{5}$	$93\frac{2}{5}$	$96\frac{4}{5}$
„ 2		$93\frac{3}{5}$	$91\frac{3}{5}$	$93\frac{2}{5}$	92	89	93	$91\frac{2}{5}$	$95\frac{3}{5}$	$95\frac{2}{5}$
„ 3		$91\frac{1}{5}$	$93\frac{2}{5}$	$92\frac{4}{5}$	$89\frac{3}{5}$	$92\frac{1}{5}$	$91\frac{2}{5}$	$92\frac{4}{5}$	$95\frac{3}{5}$	$94\frac{4}{5}$
„ 4	$94\frac{4}{5}$	$92\frac{4}{5}$	$93\frac{2}{5}$	$92\frac{4}{5}$	$94\frac{2}{5}$	$91\frac{3}{5}$	$94\frac{4}{5}$	$97\frac{3}{5}$	96	96

Umdrehung.	11	12	13	im Durchschnitt.		Reihenfolge.
Stift 1	$97\frac{1}{5}$	$97\frac{2}{5}$	$96\frac{4}{5}$	$95\frac{17}{60}$		*d*
„ 2	$93\frac{3}{5}$	98	$94\frac{3}{5}$	$93\frac{26}{60}$	$186\frac{29}{60}$ Sek. pro Hälfte.	*b*
„ 3	$94\frac{1}{5}$	$93\frac{3}{5}$	95	$93\frac{3}{60}$		*a*
„ 4	$94\frac{2}{5}$	$97\frac{3}{5}$		$94\frac{40}{60}$	$189\frac{57}{60}$ Sek. pro Hälfte.	*c*

Summe der beiden Hälften $376\frac{13}{30}$ Sek.
Unterschied „ „ „ $3\frac{7}{15}$ „

Die Tabelle zeigt, dass Stift 3 durchschnittlich am schnellsten, Stift 1 am langsamsten seinen Weg zwischen den beiden Kontakten zurückgelegt hat. Und in diesen Zeiträumen war in der Tat der Schwerpunkt bei Zahn 50 immer im Sinken resp. immer im Steigen begriffen.

Die Durchschnittszeit von Stift 2 ist kürzer als von Stift 4. Dies findet wohl seine Erklärung darin, dass es etwas Spielraum giebt zwischen den Zähnen des Gehwerkes des Klinostaten. Während Stift 2 seinen Weg zurücklegt, passiert der Schwerpunkt oben die vertikale Linie und fängt die Umdrehungsachse an, dem Gehwerk voranzugehen. Während Stift 4 seinen Weg zurücklegt, passiert der Schwerpunkt unten die vertikale Linie und fällt langsam ein wenig zurück um wieder vom Gehwerk geschoben zu werden. Dies wird eine geringe Beschleunigung resp. einen geringen Aufenthalt verursachen. Die Reihenfolge der Zeiträume ist also: Stift 3—2—4—1. Zur bequemeren Kontrollierung der noch folgenden Versuchs-

Digitized by Google

tabellen werde ich gleich für ein Übergewicht, je nach den 4 Richtungen der Platinstifte, die Reihenfolge der Zeitgrössen bestimmen, welche die 4 Stifte für den Weg zwischen den beiden Quecksilberkontakten brauchen. Man wird sie leicht aus der Figur 2 herleiten können.

Übergewicht ungefähr gerichtet nach:	Reihenfolge der Zeiträume vom kleinsten bis zum grössten:
Stift 1 oder Zahn $12\frac{1}{2}$	Stift 4–3–1–2.
„ 2 „ „ 25	„ 1–4–2–3.
„ 3 „ „ $37\frac{1}{2}$	„ 2–1–3–4.
„ 4 „ „ 50	„ 3–2–4–1.

In den Tabellen wird diese Reihenfolge angegeben durch die Buchstaben a, b, c, d, von welchen a den kleinsten, d den grössten Zeitraum andeutet.

Die Reihenfolge der Zahlengrössen bei den durchschnittlichen Werten ist nicht in jeder einzelnen Umdrehung zu erkennen. Es muss dies an der unregelmässigen Wirkung der Feder zugeschrieben werden. Bisweilen wird die Drehung verlangsamt, um später wieder plötzlich beschleunigt zu werden. Man muss daher den Durchschnitt einer grösseren Anzahl von Umdrehungen nehmen, zum Beispiel von ungefähr 10. Nach 5 Umdrehungen ergiebt der Durchschnitt jedoch meistens schon dieselbe Reihenfolge der Zahlengrössen wie nach 10. Der Durchschnitt der 2ten bis 6ten Umdrehung zeigt dies in der folgenden Tabelle.

Digitized by Google

Umdrehung.		2 bis 6 im Durchschnitt.	Reihenfolge.
Stift	1	$94\frac{18}{25}$	*d*
„	2	$91\frac{23}{25}$ $183\frac{19}{25}$ Sek. pro Hälfte.	*b*
„	3	$91\frac{21}{25}$	*a*
„	4	$92\frac{24}{25}$ $187\frac{13}{25}$ „ „ „	*c*

Summe d. beiden Hälft. $371\frac{6}{25}$ Sek.
Untersch. „ „ „ $3\frac{18}{25}$ „

In den Tabellen werden immer Summe und Unterschied der beiden Hälften angedeutet. Wie früher schon erwähnt, bilden diese Zahlen ein gutes Maass für die ganze Umlaufzeit und für den Unterschied der beiden Hälften. Die wirklichen Zahlenwerte dafür können aus den angegebenen berechnet werden durch Multiplikation mit $^{90}/_{77}$, weil die Entfernung der beiden Kontakte 77° ist. Die Umlaufzeit des Versuches auf Seite 65 ist also $^{90}/_{77} \times 376^{13}/_{30} = 444^1/_2$ Sekunden.

Der Unterschied zwischen den beiden Hälften der Umdrehung ist nur $^{90}/_{77} \times 3^7/_{15} = 4^1/_2$ Sek. Die Umdrehungsachse war jedoch nur mit der Zahnscheibe und der Zentrierungsvorrichtung belastet, indem die Exzentrizität von einem Gewichtchen von nur 7,7 g in $62^1/_2$ mm Entfernung verursacht wurde. Bei schwererer Belastung bleiben viel grössere Übergewichte unentdeckt, und dann treten auch die grösseren periodischen Ungleichmässigkeiten von mehr als 36 Sek. ein, welche in der früher beschriebenen Versuchen gefunden wurden.

Ich schob jetzt das Gewichtchen bis auf 38 mm Entfernung von der Achse, so dass bei ausgeschaltetem Gehwerk die Umdrehungsachse kein oder fast kein Übergewicht mehr zeigte. Selbstverständlich war dieses jedoch noch immer anwesend und nach Zahn 50 gerichtet. Einige Stunden später wurde die Rotation wieder untersucht.

Digitized by Google

Umdrehung.	1	2	3	4	5	6	7	8
Stift 1		$118\frac{2}{5}$	$114\frac{1}{5}$	$119\frac{2}{5}$	$120\frac{3}{5}$	121	$118\frac{4}{5}$	$117\frac{2}{5}$
„ 2		$111\frac{3}{5}$	$113\frac{1}{5}$	$115\frac{3}{5}$	$114\frac{4}{5}$	$117\frac{4}{5}$	$115\frac{1}{5}$	$114\frac{1}{5}$
„ 4	$107\frac{4}{5}$	$111\frac{2}{5}$	$112\frac{1}{5}$	$113\frac{2}{5}$	$113\frac{2}{5}$	$109\frac{4}{5}$	$114\frac{1}{5}$	113
„ 3	$113\frac{4}{5}$	$112\frac{3}{5}$	116	$117\frac{2}{5}$	$114\frac{4}{5}$	$116\frac{2}{5}$	$119\frac{1}{5}$	$116\frac{3}{5}$

Umdrehung.	9	im Durchschnitt.	Reihenfolge.
Stift 1	$120\frac{3}{5}$	$118\frac{32}{40}$ }	*d*
„ 2	$114\frac{1}{5}$	$114\frac{23}{40}$ } $226\frac{411}{360}$ Sek. pro Hälfte	*b*
„ 3	$115\frac{2}{5}$	$112\frac{13}{40}$ }	*a*
„ 4	117	$115\frac{44}{45}$ } $234\frac{280}{364}$ „ „ „	*c*

Summe d. b. Hälft. $461\frac{291}{360}$ Sek.
Untersch. „ „ „ $7\frac{329}{360}$ „

Die Reihenfolge der Zahlengrössen ist wieder ganz dieselbe. Nur ist die Rotation sehr verlangsamt, und zu gleicher Zeit ist der Unterschied zwischen den beiden Hälften der Umdrehung fast verdoppelt. Die Ursache ist darin zu finden, dass die Feder schon wieder weiter abgespannt war und dadurch weniger Kraft auf das Gehwerk ausübte.

Dieser Versuch lehrt, dass ein Übergewicht, welches bei ausgeschaltetem Gehwerk nicht mehr aufzufinden ist, doch im stande ist, eine ansehnliche periodische Ungleichmässigkeit der Rotation hervorzurufen.

Das Gewichtchen wurde jetzt auf 30 mm Entfernung von der Achse geschoben, so dass bei ausgeschaltetem Gehwerk gar nichts mehr von einem Übergewicht der Umdrehungsachse zu sehen war.

Digitized by Google

18 April 1905.

Umdreh.	1	2	3	4	5	6	im Durchschnitt.	Reihenfolge.
Stift 1		$86\frac{4}{5}$	$90\frac{3}{5}$	$90\frac{1}{5}$	88	$90\frac{3}{5}$	$89\frac{6}{35}$	*d*
„ 2	$82\frac{2}{5}$	$82\frac{3}{5}$	$92\frac{2}{5}$	90	86	90	$87\frac{7}{30}$ $173\frac{19}{30}$ Sek. pro Hälfte.	*b*
„ 3	$80\frac{3}{5}$	$82\frac{2}{5}$	92	86	$87\frac{3}{5}$	$89\frac{4}{5}$	$86\frac{12}{30}$	*a*
„ 4	$83\frac{3}{5}$	$88\frac{3}{5}$	$90\frac{3}{5}$	$90\frac{1}{5}$	90	$91\frac{2}{5}$	$89\frac{2}{30}$ $178\frac{46}{150}$ Sek. pro Hälfte.	*c*

Summe der beiden Hälften $351\frac{141}{150}$ Sek.
Unterschied „ „ „ $4\frac{101}{150}$ „

Diese Tabelle zeigt, dass die Rotation sehr unregelmässig war. Obwohl die Ablesungen nur eine kurze Zeit fortgesetzt wurden, bewiesen sie dass die Art der Rotation noch immer dieselbe war.

Das Gewichtchen wurde jetzt auf 20 mm Entfernung von der Achse geschoben. 19 April 1905.

Umdreh.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Stift 1		$119\frac{2}{5}$	125	$123\frac{4}{5}$	$122\frac{2}{5}$	$124\frac{3}{5}$	$120\frac{3}{5}$	$125\frac{3}{5}$	$125\frac{2}{5}$
„ 2	$117\frac{2}{5}$	$120\frac{2}{5}$	120	$119\frac{2}{5}$	$122\frac{1}{5}$	$118\frac{4}{5}$	118	122	$124\frac{1}{5}$
„ 3	119	$120\frac{2}{5}$	$117\frac{1}{5}$	$119\frac{3}{5}$	$117\frac{1}{5}$	$120\frac{1}{5}$	119	$120\frac{2}{5}$	122
„ 4	$123\frac{1}{5}$	$121\frac{3}{5}$	$121\frac{1}{5}$	120	$122\frac{1}{5}$	$121\frac{2}{5}$	$122\frac{2}{5}$	$126\frac{2}{5}$	125

Umdreh.	10	im Durchschnitt.	Reihenfolge.
Stift 1	$125\frac{3}{5}$	$123\frac{27}{45}$	*d*
„ 2	$123\frac{4}{5}$	$120\frac{35}{50}$ $240\frac{35}{50}$ Sek. pro Hälfte.	*b*
„ 3	123	$119\frac{40}{50}$	*a*
„ 4	$127\frac{2}{5}$	$123\frac{4}{50}$ $246\frac{34}{50}$ „ „ „	*c*

Summe d. beiden Hälft. $487\frac{9}{50}$ Sek.
Untersch. „ „ „ $6\frac{9}{50}$ „

Noch immer besteht also dieselbe Orientierung der

Digitized by Google

periodischen Ungleichmässigkeit; die Rotation war langsam, der Unterschied zwischen den beiden Hälften dadurch verhältnismässig gross.

Das Gewichtchen wurde jetzt unmittelbar gegen den Ring der Zentrierungsvorrichtung geschoben, d. h. 9 mm von der Achse entfernt.

21 April 1905.

Umdreh.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Stift 1		$114\frac{1}{5}$	$116\frac{1}{5}$	$115\frac{3}{5}$	117	$114\frac{4}{5}$	117	$116\frac{4}{5}$	120
„ 2		$115\frac{3}{5}$	$112\frac{2}{5}$	$113\frac{1}{5}$	$114\frac{3}{5}$	$113\frac{2}{5}$	$115\frac{2}{5}$	115	$116\frac{1}{5}$
„ 3	$115\frac{3}{5}$	$114\frac{3}{5}$	$111\frac{4}{5}$	$114\frac{3}{5}$	$113\frac{3}{5}$	$117\frac{3}{5}$	$112\frac{3}{5}$	116	116
„ 4	$113\frac{1}{5}$	$114\frac{4}{5}$	$117\frac{4}{5}$	$113\frac{2}{5}$	$112\frac{3}{5}$	$115\frac{4}{5}$	$116\frac{2}{5}$	$119\frac{1}{5}$	$120\frac{2}{5}$

Umdreh.	10	im Durchschnitt.		Reihenfolge.
Stift 1	$118\frac{4}{5}$	$116\frac{32}{45}$		*d*
„ 2	$118\frac{1}{5}$	$114\frac{40}{45}$	$229\frac{3}{5}$ Sek. pro Hälfte.	*b*
„ 3		$114\frac{32}{45}$		*a*
„ 4		$115\frac{43}{45}$	$232\frac{2}{5}$ „ „ „	*c*

Summe d. beiden Hälft. $462\frac{4}{15}$ Sek.
Untersch. „ „ „ $3\frac{1}{15}$ „

Obwohl der Unterschied zwischen den beiden Hälften viel geringer geworden ist, ist doch die Orientierung der periodischen Ungleichmässigkeit noch immer dieselbe.

Jetzt wurde das Gewichtchen vom Stift entfernt. Früher war konstatiert, dass zwischen den zwei Nadeln noch ein ganz geringes Übergewicht nach Zahn 50 anwesend war. Einige Stunden nach dem Aufziehen des Gehwerkes bestimmte ich während einer langen Zeit die Art der Rotation.

Digitized by Google

22 April 1905.

Umdrehung.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Stift 1		$101\frac{1}{5}$	$99\frac{1}{5}$	$99\frac{4}{5}$	$98\frac{3}{5}$	100	$101\frac{3}{5}$	$102\frac{3}{5}$	$100\frac{2}{5}$	98
„ 2	102	$97\frac{2}{5}$	$99\frac{2}{5}$	$100\frac{4}{5}$	$100\frac{1}{5}$	102	$100\frac{3}{5}$	$100\frac{2}{5}$	$98\frac{4}{5}$	$99\frac{1}{5}$
„ 3	$97\frac{1}{5}$	$98\frac{3}{5}$	$100\frac{2}{5}$	$102\frac{4}{5}$	$98\frac{3}{5}$	102	$100\frac{1}{5}$	$100\frac{2}{5}$	$98\frac{4}{5}$	$97\frac{2}{5}$
„ 4	100	$98\frac{2}{5}$	$98\frac{1}{5}$	101	100	$98\frac{2}{5}$	$102\frac{4}{5}$	103	$97\frac{2}{5}$	$98\frac{2}{5}$

Umdrehung.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Stift 1	$100\frac{2}{5}$	99	$98\frac{3}{5}$	$97\frac{4}{5}$	$98\frac{1}{5}$	$101\frac{3}{5}$	$100\frac{3}{5}$	$101\frac{3}{5}$	101	105
„ 2	$101\frac{2}{5}$	$99\frac{2}{5}$	$98\frac{1}{5}$	100	$100\frac{4}{5}$	$100\frac{1}{5}$	$101\frac{3}{5}$	$103\frac{4}{5}$	$103\frac{3}{5}$	$104\frac{2}{5}$
„ 3	$100\frac{4}{5}$	98	$98\frac{3}{5}$	96	$100\frac{2}{5}$	$101\frac{3}{5}$	$99\frac{2}{5}$	103	$104\frac{1}{5}$	103
„ 4	102	98	$98\frac{2}{5}$	$97\frac{4}{5}$	$100\frac{4}{5}$	$102\frac{4}{5}$	$101\frac{3}{5}$	$100\frac{3}{5}$	$104\frac{2}{5}$	$106\frac{2}{5}$

Umdrehung.	21	22	23	im Durchschnitt.		Reihenf.
Stift 1	$102\frac{4}{5}$	$101\frac{4}{5}$	106	$100\frac{78}{110}$	$201\frac{80}{110}$ Sek. pro Hälfte.	*b*
„ 2	$103\frac{3}{5}$	$104\frac{4}{5}$		$101\frac{2}{110}$		*d*
„ 3	105	$103\frac{2}{5}$		$100\frac{54}{110}$	$201\frac{29}{110}$ Sek. pro Hälfte.	*a*
„ 4	$100\frac{1}{5}$	$106\frac{3}{5}$		$100\frac{85}{110}$		*c*

Summe der beiden Hälften $402\frac{109}{110}$ Sek.
Unterschied „ „ „ $\frac{51}{110}$ „

Diese Tabelle zeigt keine periodische Ungleichmässigkeit, denn die Orientierung der geringen scheinbaren Periodizität schwankt je nach der Gruppe von Umdrehungen, aus welchen der Durchschnitt bestimmt wird. Der Durchschnitt der 2ten bis 11ten Umdrehung und der 12ten bis 21ten Umdrehung sind in der folgenden Tabelle berechnet.

Digitized by Google

Umdrehung.	2 bis 11 im Durchschnitt.	Reihenfolge.	12 bis 21 im Durchschnitt.	Reihenfolge.
Stift 1	$100\frac{8}{50}$ } $200\frac{4}{25}$ Sek pro	*d*	$100\frac{31}{50}$ } $202\frac{9}{50}$ Sek. pro	*a*
„ 2	100 } Hälfte.	*b*	$101\frac{28}{50}$ } Hälfte	*d*
„ 3	$100\frac{6}{50}$ } $200\frac{2}{25}$ Sek. pro	*c*	$100\frac{45}{50}$ } $201\frac{49}{50}$ Sek. pro	*b*
„ 4	$99\frac{48}{50}$ } Hälfte.	*a*	$101\frac{4}{50}$ } Hälfte.	*c*

Summe d. b. Hälften	$400\frac{6}{25}$ Sek.	$404\frac{4}{25}$ Sek.
Untersch. d. b. Hälften	$\frac{2}{25}$ „	$\frac{1}{5}$ „

Die Reihenfolge der durchschnittlichen Zeitgrössen ist hier jedesmal eine andere.

Die ursprüngliche Orientierung, wobei Stift 3 am schnellsten, Stift 1 am langsamsten die Strecke durchlief, ist also verschwunden. Ungeachtet der ansehnlichen Unregelmässigkeiten in den Zahlen der einzelnen Umdrehungen ist der Unterschied zwischen den durchschnittlichen schnellsten und langsamsten Hälften noch weniger als eine halbe Sekunde. Die äusserst geringe Exzentrizität, welche sich zwischen den zwei Nadeln verraten hatte bei der Achse ohne das Gewichtchen von 7,7 g, hat in der Rotation also keine periodische Ungleichmässigkeit verursacht.

Eine ganz genaue Zentrierung der Achse zwischen zwei Nadeln wird die Rotation nicht noch regelmässiger machen können. Denn die zwei Klemmschrauben des Gelenkes sind nicht symmetrisch angebracht, doch in einer Entfernung von 90°. Sie können an sich eine geringe Exzentrizität verursachen, welche mit der zwischen zwei Nadeln bestimmten Exzentrizität der Umdrehungsachse zusammengestellt werden muss. Behufs einer guten Zentrierung wäre es auch gewünscht, dass die Zentrierungsvorrichtung zentrisch gebaut wäre, oder dass jedenfalls ihr Schwerpunkt im Radius des Stiftes läge. Die Klemmschraube dieser Vorrichtung sollte dazu gegenüber dem Stift stehen, anstatt

Digitized by Google

90' davon entfernt. Ich habe oben erwähnt, dass diesem Übelstand abgeholfen wurde durch 2 Quetschhähne, welche in entsprechender Stellung auf die Umdrehungsachse geschraubt waren.

Die oben mitgeteilte Reihe von Versuchstabellen reicht völlig aus um uns zu zwei Schlüssen zu berechtigen:

a. Nur die exzentrische Belastung ist Ursache von der periodischen Ungleichmässigkeit der Rotation.

b. Diese Exzentrizität ist schon wirksam, wenn sie einen Betrag erreicht, der mit der gewöhnlichen Zentrierungsvorrichtung nicht aufzufinden ist und deshalb nicht mit Hülfe dieser Vorrichtung kompensiert werden kann.

Diese Schlüsse setzen den Wert des hier untersuchten Wortmannschen Klinostaten als Hilfsmittel bei wissenschaftlichen Untersuchungen teilweise herab. Ich stelle es mir daher zur Pflicht, sie noch durch einige weitere Versuchstabellen zu begründen.

Ich behielt alle Umstände wie oben, doch stellte den Stift der Zentrierungsvorrichtung nach Zahn 25 anstatt nach Zahn 50. Auch wurden die zwei Quetschhähne ungefähr nach Zahn 40 gestellt, so dass zwischen den zwei Nadeln sich jetzt eine deutliche Spur eines Übergewichtes nach dem Stift — bei Zahn 25 — zeigte. Das Gewichtchen von 7,7 g wurde auf den Stift gegen den Ring der Zentrierungsvorrichtung geschoben. 24 April 1905.

Umdreh.	1	2	3	4	5	6	im Durchschnitt.		Reihenf.
Stift 1	$66\frac{2}{5}$	$69\frac{3}{5}$	$71\frac{3}{5}$	66	$68\frac{2}{5}$	67	$68\frac{5}{30}$		*a*
„ 2	71	$73\frac{1}{5}$	$74\frac{4}{5}$	73	$71\frac{2}{5}$	$74\frac{1}{5}$	$72\frac{28}{30}$	$146\frac{10}{30}$ Sek. pro	*c*
„ 3	73	$73\frac{3}{5}$	$77\frac{1}{5}$	70	$70\frac{1}{5}$	$76\frac{2}{5}$	$73\frac{12}{30}$	Hälfte.	*d*
„ 4	$69\frac{2}{5}$	$72\frac{1}{5}$	$71\frac{3}{5}$	$66\frac{1}{5}$	$72\frac{3}{5}$	$69\frac{3}{5}$	$70\frac{7}{30}$	$138\frac{12}{30}$ Sek. pro Hälfte.	*b*
	Summe der beiden Hälften							$284\frac{11}{15}$ Sek.	
	Unterschied „ „ „							$7\frac{14}{15}$ „	

Digitized by Google

Der ungewöhnlich schnelle Gang ist dadurch verursacht, dass das Gehwerk ungefähr eine Stunde vorher aufgezogen war. Die periodische Ungleichmässigkeit ist jetzt anders orientiert als vorher, und zwar so wie aus der Stellung des Schwerpunktes bei Zahn 25 zu erwarten war. Die Zeit, worin Stift 1 seinen Weg zwischen den beiden Kontakten zurücklegt, ist die kürzeste und dann ist Zahn 25 stets im Sinken begriffen. Stift 3 braucht die längste Zeit und dann steigt Zahn 25 fortwährend. Stift 4 braucht weniger Zeit als Stift 2; während dieser Zeiten passiert Zahn 25 die vertikale Linie oben resp. unten, wodurch der Schwerpunkt voranzugehen beginnt resp. wieder anfängt, geschoben zu werden.

Die Orientierung der Periodizität kommt also wieder ganz überein mit der Stellung des Schwerpunktes.

Ich entfernte nun das Gewichtchen vom Stift.

Umdrehung.	1	2	3	4	5	6	7
Stift 1	$71\frac{4}{5}$	71	72	$69\frac{3}{5}$	$70\frac{4}{5}$	$69\frac{2}{5}$	$69\frac{2}{5}$
„ 2	74	$74\frac{1}{5}$	$70\frac{3}{5}$	$72\frac{3}{5}$	$74\frac{2}{5}$	$70\frac{2}{5}$	$71\frac{3}{5}$
„ 3	$74\frac{1}{5}$	$74\frac{3}{5}$	73	73	$75\frac{3}{5}$	$72\frac{4}{5}$	71
„ 4	73	$71\frac{2}{5}$	$73\frac{1}{5}$	$71\frac{1}{5}$	$71\frac{4}{5}$	70	$73\frac{2}{5}$

Umdrehung.	8	im Durchschnitt.		Reihenfolge.
Stift 1	$69\frac{3}{5}$	$70\frac{18}{40}$	$146\frac{4}{40}$ Sek. pro Hälfte.	*a*
„ 2	$71\frac{1}{5}$	$72\frac{15}{40}$		*c*
„ 3	$75\frac{3}{5}$	$73\frac{29}{40}$		*d*
„ 4	$71\frac{4}{5}$	$71\frac{39}{40}$	$142\frac{17}{40}$ Sek. pro Hälfte.	*b*

Summe der beiden Hälften $288\frac{21}{40}$ Sek.
Unterschied „ „ „ $3\frac{27}{40}$ „

Die Ungleichmässigkeit ist noch genau so orientiert, nur ist ihre Grösse bis auf die Hälfte herabgesunken.

Digitized by Google

Ich war anfangs verwundert, dass die Periode sich hier deutlich zeigte, indem sie soeben im langen übereinstimmenden Versuch vom 22 April versteckt blieb. Die Erklärung ist wahrscheinlich darin zu finden, dass damals das sehr geringe Übergewicht zufälligerweise kompensiert wurde durch das Übergewicht des Gelenkes, das von den zwei Klemmschrauben verursacht wird. Ich habe leider nicht darauf geachtet, die Stellung dieser Klemmschrauben in Bezug auf die Zähne der Zahnscheibe jedesmal zu notieren.

Der Stift wurde wieder mit dem gegen den Ring geschobenen Gewichtchen versehen und nach Zahn 37 gerichtet; die Quetschhähne richtete ich ungefähr nach Zahn 3, damit der Schwerpunht in der Richtung von Zahn 37 läge.

25 April 1905.

Umdrehung.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Stift 1		$94\frac{3}{5}$	$90\frac{2}{5}$	$94\frac{2}{5}$	$91\frac{1}{5}$	$91\frac{3}{5}$	$92\frac{3}{5}$	$90\frac{2}{5}$	$90\frac{2}{5}$
„ 2	$93\frac{4}{5}$	$90\frac{2}{5}$	$92\frac{2}{5}$	$93\frac{1}{5}$	$90\frac{1}{5}$	$91\frac{4}{5}$	89	89	$88\frac{2}{5}$
„ 3	$94\frac{1}{5}$	94	$93\frac{2}{5}$	$94\frac{2}{5}$	$93\frac{1}{5}$	$89\frac{2}{5}$	92	$89\frac{2}{5}$	$90\frac{2}{5}$
„ 4	$96\frac{1}{5}$	$94\frac{3}{5}$	95	$95\frac{2}{5}$	$92\frac{2}{5}$	$92\frac{3}{5}$	$92\frac{2}{5}$	93	$90\frac{4}{5}$

Umdrehung.	10	im Durchschnitt.		Reihenfolge.
Stift 1	$87\frac{4}{5}$	$91\frac{20}{45}$	$182\frac{16}{45}$ Sek. pro Hälfte.	*b*
„ 2		$90\frac{41}{45}$		*a*
„ 3		$92\frac{12}{45}$	$185\frac{29}{45}$ „ „ „	*c*
„ 4		$93\frac{27}{45}$		*d*

Summe d. beiden Hälften $368\frac{2}{9}$ Sek.
Untersch. „ „ „ $3\frac{23}{45}$ „

Die Übereinstimmung von Schwerpunktrichtung und Orientierung der Periodizität ist wieder vollkommen. Stift 2 ist der schnellste und es sinkt dann Zahn 37. Stift 4 ist der langsamste, und Zahn 37 steigt dann. Stift 1 ist kürzer als Stift 3, wie man es erwarten dürfte.

Digitized by Google

Das Gewichtchen wurde nun wieder vom Stift entfernt, so dass ein nur zwischen zwei Nadeln zu entdeckendes Übergewicht nach Zahn 37 übrig blieb. 26 April 1905.

Umdrehung.	1	2	3	4	5	6
Stift 1	91	$90\frac{2}{5}$	90	$89\frac{4}{5}$	$89\frac{2}{5}$	$90\frac{3}{5}$
„ 2	$88\frac{4}{5}$	$87\frac{2}{5}$	$88\frac{1}{5}$	$88\frac{4}{5}$	$91\frac{4}{5}$	$87\frac{3}{5}$
„ 3	91	$88\frac{3}{5}$	$88\frac{2}{5}$	$91\frac{3}{5}$	$89\frac{4}{5}$	$90\frac{4}{5}$
„ 4	$93\frac{1}{5}$	$87\frac{4}{5}$	$91\frac{3}{5}$	$90\frac{3}{5}$	$91\frac{1}{5}$	$93\frac{1}{5}$

Umdrehung.	7	im Durchschnitt.		Reihenf.
Stift 1	90	$90\frac{6}{35}$	$179\frac{10}{35}$ Sek. pro Hälfte.	*b*
„ 2	$91\frac{1}{5}$	$89\frac{4}{35}$		*a*
„ 3	92	$90\frac{11}{35}$	$181\frac{26}{35}$ Sek. pro Hälfte.	*c*
„ 4	$92\frac{2}{5}$	$91\frac{15}{35}$		*d*

Summe der beiden Hälften $361\frac{1}{35}$ Sek.
Unterschied „ „ „ $2\frac{16}{35}$ „

Die periodische Ungleichmässigkeit ist noch genau so orientiert wie oben, nur ist ihre Grösse wieder verringert.

Wenn für den Wortmannschen Klinostaten die Unzulänglichtkeit nun unzweideutig gezeigt worden ist, so muss auch der **Pfeffersche Klinostat** einer gleichen Prüfung unterworfen werden. Ich habe oben schon einige Versuche erwähnt welche beim Pfefferschen Klinostaten nichts besseres erwarten liessen. Es hat sich dies in den folgenden Versuchen bewährt.

Ich benutzte die langsamere der beiden Achsen, stellte den Trieb des Regulators auf den inneren Radkranz des Kronrades, stellte die Flügel halbwegs ihrer Stifte und mässig schief an die Stifte. Die Umlaufzeit war so ungefähr 12 Minuten.

Digitized by Google

Die zugehörige Umdrehungsachse ruhte genau wagerecht auf den Friktionsrollen und stand in der Verlängerung des Triebzapfens. Sie wurde nur belastet mit der Zahnscheibe und der Zentrierungsvorrichtung, deren exzentrische Klemmschrauben bei jedem Versuche so durch zwei an die Umdrehungsachse geschraubte Quetschhähne kompensiert wurden, dass ein zwischen zwei Nadeln aufzufindendes minimales Übergewicht übrig blieb in der Richtung des Stiftes der Zentrierungsvorrichtung. Auf die nicht symmetrische Stellung der beiden Klemmschrauben des Gelenkes wurde wieder nicht geachtet.

Um ein willkürlich bestimmtes Übergewicht anzubringen, wurde ein flaches zylindrisches Kupferscheibchen von 5,12 g auf den Zentrierungsstift geschoben.

Die Ablesungen geschahen wieder immer mit der automatischen Chronographenmethode; die beiden Quecksilberkontakte standen 77° von einander entfernt.

27 April 1905. Stift nach Zahn 10 gerichtet. Gewichtchen 80 mm von der Umdrehungsachse entfernt, indem sich noch gar kein Übergewicht zeigte wenn die gelockerte Achse frei im Gelenk drehen konnte. (Erst bei 110 mm Entfernung des Gewichtchens war in dieser Weise ein geringes Übergewicht nach Zahn 10 zu sehen).

Umdreh.	1	2	3	4	5	6	7	8
Stift 1	160	$162\frac{1}{5}$	$162\frac{1}{5}$	$163\frac{2}{5}$	$162\frac{4}{5}$	161	$162\frac{2}{5}$	$162\frac{2}{5}$
„ 2	$161\frac{2}{5}$	$162\frac{3}{5}$	$163\frac{3}{5}$	$163\frac{4}{5}$	$163\frac{1}{5}$	$161\frac{2}{5}$	$164\frac{2}{5}$	$164\frac{3}{5}$
„ 3	160	$161\frac{2}{5}$	$162\frac{1}{5}$	163	$162\frac{1}{5}$	$161\frac{4}{5}$	163	$163\frac{1}{5}$
„ 4	$159\frac{4}{5}$	$161\frac{3}{5}$	$161\frac{4}{5}$	$160\frac{2}{5}$	$159\frac{1}{5}$	160	$161\frac{2}{5}$	161

Digitized by Google

Umdreh.	9	10	im Durchschnitt.		Reihenf.
Stift 1	163	$165\frac{2}{5}$	$162\frac{24}{50}$		c
„ 2	$165\frac{2}{5}$	$167\frac{2}{5}$	$163\frac{39}{50}$	$326\frac{10}{50}$ Sek. pro Hälfte.	d
„ 3	$163\frac{3}{5}$	$163\frac{4}{5}$	$162\frac{21}{50}$		b
„ 4	$162\frac{3}{5}$	162	$160\frac{48}{50}$	$323\frac{22}{50}$ „ „ „	a

Summe der beiden Hälften $649\frac{16}{25}$ Sek.
Untersch. „ „ „ $2\frac{12}{25}$ „

Stift 4 lief am schnellsten, Stift 2 am langsamsten, indem Stift 3 weniger Zeit brauchte als Stift 1; es stimmt dies wieder ganz überein mit dem zwischen zwei Nadeln gezeigten Übergewicht nach Zahn 10.

28 April 1905. Das Gewichtchen wurde jetzt vom Stift entfernt, übrigens alles wie oben.

Umdrehung.	1	2	3	4	5	6	7
Stift 1	$176\frac{2}{5}$	$180\frac{3}{5}$	$179\frac{1}{5}$	$183\frac{4}{5}$	$180\frac{1}{5}$	$181\frac{3}{5}$	$182\frac{4}{5}$
„ 2	$178\frac{1}{5}$	183	$180\frac{4}{5}$	$185\frac{1}{5}$	$181\frac{3}{5}$	$182\frac{1}{5}$	$183\frac{1}{5}$
„ 3	$179\frac{3}{5}$	180	$180\frac{4}{5}$	$179\frac{2}{5}$	182	$181\frac{4}{5}$	$182\frac{4}{5}$
„ 4	$179\frac{1}{5}$	$177\frac{3}{5}$	$181\frac{1}{5}$	$178\frac{1}{5}$	$182\frac{3}{5}$	$181\frac{2}{5}$	$183\frac{2}{5}$

Umdrehung.	8	im Durchschnitt.		Reihenf.
Stift 1	$181\frac{1}{5}$	$180\frac{28}{40}$		c
„ 2	178	$181\frac{24}{40}$	362 Sek. pro Hälfte.	d
„ 3	$177\frac{2}{5}$	$180\frac{19}{40}$		b
„ 4	$177\frac{2}{5}$	$180\frac{5}{40}$	$360\frac{38}{40}$ Sek. pro Hälfte.	a

Summe der beiden Hälften $722\frac{38}{40}$ Sek.
Unterschied „ „ „ $1\frac{17}{40}$ „

Die langsamere Rotation war dadurch verursacht, dass mehr Zeit verlaufen war seit dem Aufziehen der Feder.

Digitized by Google

Die Orientierung der periodischen Ungleichmässigkeit ist noch wie oben, nur die Grösse ist verringert.

Jetzt wurde der Stift wieder mit dem Gewichtchen von 5,12 g in einer Entfernung von 80 mm von der Achse versehen und nach Zahn 48 gerichtet, mit entsprechender Verteilung der Quetschhähne. 29 April 1905.

Umdrehung.	1	2	3	4	5	6	7	8
Stift 1	$174\frac{4}{5}$	$169\frac{4}{5}$	$169\frac{2}{5}$	$169\frac{3}{5}$	$170\frac{4}{5}$	$170\frac{2}{5}$	$171\frac{3}{5}$	171
„ 2	$170\frac{1}{5}$	$168\frac{3}{5}$	$166\frac{3}{5}$	$167\frac{2}{5}$	168	$168\frac{1}{5}$	169	$167\frac{1}{5}$
„ 3	$167\frac{3}{5}$	166	$165\frac{3}{5}$	167	$166\frac{4}{5}$	$167\frac{3}{5}$	$167\frac{2}{5}$	$164\frac{4}{5}$
„ 4	$168\frac{4}{5}$	$168\frac{2}{5}$	$168\frac{4}{5}$	$168\frac{4}{5}$	$168\frac{4}{5}$	$169\frac{1}{5}$	$169\frac{1}{5}$	$166\frac{4}{5}$

Umdrehung.	9	im Durchschnitt.		Reihenf.
Stift 1	$169\frac{1}{5}$	$170\frac{33}{45}$		*d*
„ 2	$166\frac{2}{5}$	$167\frac{43}{45}$	$334\frac{10}{45}$ Sek. pro Hälfte.	*b*
„ 3	164	$166\frac{12}{45}$		*a*
„ 4	$166\frac{4}{5}$	$108\frac{18}{45}$	$339\frac{6}{45}$ „ „ „	*c*

Summe der beiden Hälften $673\frac{16}{45}$ Sek.
Unterschied „ „ „ $4\frac{41}{45}$ „

Stift 3 legte seinen Weg am schnellsten zurück, Stift 1 am langsamsten, und 4 schneller als 2; dies stimmt wieder genau überein mit dem nur zwischen den zwei Nadeln aufzufindenden Übergewicht nach Zahn 48.

Ich habe es nützlich geurteilt, auch die schnellst drehende Achse des Pfefferschen Klinostaten zu untersuchen in Bezug auf die Gleichmässigkeit ihrer Rotation. Es wäre ja möglich, dass die periodische Umgleichmässigkeit bei schneller Rotation verschwände oder doch kaum nachweisbar würde. Ich musste hierzu den dritten Kontakt herstellen, der auf Seite 222 beschrieben wurde und der den Chronographen automatisch wieder auf Null

Digitized by Google

stellte, kurz bevor der nächstfolgende Stift den ersten der drei Kontakte berührte. Den grössten Teil der 90°—77° = 13° einer Viertelumdrehung behielt ich also noch um die Stellung des Sekundenzeigers abzulesen.

Die schnelle Umdrehung dauerte etwas mehr als eine Minute. Die Zeit, in welcher man die Stellung des Zeigers ablesen musste, betrug 1½ Sekunde. Ich war also verpflichtet, die Aufmerksamkeit fortwährend gespannt zu halten. Die erheischten 10 oder 15 Umdrehungen dauerten jedoch zusammen nur eine Viertelstunde, so dass die ermüdende Arbeit nicht zu lange nötig war.

Die schnelle Achse des Pfefferschen Klinostaten dreht in entgegengesetzter Richtung von derjenigen der langsamen Achse. Die Zahnscheibe wurde jedoch in ganz derselben Stellung an der Umdrehungsachse befestigt gelassen, so dass jetzt dem Stift 1 Stift 4 folgte, dann Stift 3, dann Stift 2. „Stift 1" bedeutet wieder die Zeit, worin Stift 1 vom ersten Kontakt bis zum zweiten rotiert, was jetzt von links nach rechts stattfindet.

Die Reihenfolge der 4 Zeiträume bei einem Übergewicht resp. nach den 4 Richtungen der 4 Platinstifte ist jetzt derjenigen entgegengesetzt, welche auf Seite 235 angegeben wurde, also wie in der folgenden Tabelle.

Übergewicht ungefähr gerichtet nach:	Reihenfolge der Zeiträume vom kleinsten bis zum grössten:
Stift 1 oder Zahn 12½	Stift 2—1—3—4
„ 2 „ „ 25	„ 3—2—4—1
„ 3 „ „ 37½	„ 4—3—1—2
„ 4 „ „ 50	„ 1—4—2—3

Ich liess die Achse nun erst so belastet wie beim vorigen Versuch, d. h. mit dem Stift nach Zahn 48 und mit dem Gewichtchen von 5,12 g 80 mm von der Achse entfernt.

Digitized by Google

Umdrehung.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Stift 4	12	$13\frac{2}{5}$	$12\frac{1}{5}$	$12\frac{4}{5}$	$13\frac{1}{5}$	$12\frac{3}{5}$	$12\frac{3}{5}$	$13\frac{1}{5}$	$12\frac{3}{5}$	$12\frac{3}{5}$	$13\frac{1}{5}$
„ 3	$14\frac{3}{5}$	$14\frac{4}{5}$	$15\frac{1}{5}$	$15\frac{3}{5}$	$14\frac{3}{5}$	$15\frac{2}{5}$	$16\frac{1}{5}$	15	$15\frac{2}{5}$	$15\frac{4}{5}$	$15\frac{1}{5}$
„ 2	$14\frac{3}{5}$	$14\frac{1}{5}$	$15\frac{2}{5}$	14	$14\frac{4}{5}$	16	$14\frac{3}{5}$	$14\frac{3}{5}$	$16\frac{1}{5}$	15	$14\frac{2}{5}$
„ 1	$11\frac{4}{5}$	$12\frac{3}{5}$	$12\frac{3}{5}$	$12\frac{4}{5}$	$12\frac{4}{5}$	$12\frac{1}{5}$	$12\frac{4}{5}$	12	$12\frac{2}{5}$	$12\frac{2}{5}$	13

Umdrehung.	12	13	14	im Durchschnitt.		Reihenf.
Stift 4	$13\frac{1}{5}$	$13\frac{1}{5}$	$13\frac{4}{5}$	$12\frac{63}{70}$	$30\frac{5}{14}$ Sek. pro Hälfte.	*b*
„ 3	$15\frac{3}{5}$	$16\frac{2}{5}$	$15\frac{2}{5}$	$15\frac{25}{70}$		*d*
„ 2	$15\frac{4}{5}$	$15\frac{2}{5}$	15	15		*c*
„ 1	$12\frac{2}{5}$	$12\frac{2}{5}$	$13\frac{1}{5}$	$12\frac{37}{70}$	$25\frac{6}{14}$ Sek. pro Hälfte.	*a*

Summe der beiden Hälften $55\frac{11}{14}$ Sek.
Unterschied „ „ „ $4\frac{13}{14}$ „

Die Tabelle zeigt, dass die periodische Ungleichmässigkeit unerwartet gross ist. Ihre absolute Grösse ist ungefähr wie bei der langsamen Achse; ihre prozentische Grösse ist hier somit sehr viel bedeutender. Ausserdem sind die individuellen Abweichungen in den einzelnen Umdrehungen so gering, dass die Reihenfolge der Zeitgrössen in den einzelnen Umdrehungen fast immer dieselbe ist wie in den durchschnittlichen Zeiten der 4 Stifte. Diese Reihenfolge ist Stift 1—4—2—3, was gerade übereinstimmt mit dem vorhandenen kleinen Übergewicht nach Zahn 48.

Ich richtete jetzt den Stift mit dem Gewichtchen nach Zahn 23, mit entsprechender Verstellung der Quetschhähne.

Umdrehung.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Stift 4		14	$14\frac{1}{5}$	14	$15\frac{2}{5}$	$14\frac{2}{5}$	$14\frac{2}{5}$	15	$14\frac{1}{5}$
„ 3		$12\frac{3}{5}$	$12\frac{2}{5}$	$12\frac{4}{5}$	$12\frac{4}{5}$	$12\frac{3}{5}$	$12\frac{4}{5}$	$12\frac{2}{5}$	$12\frac{3}{5}$
„ 2		$12\frac{3}{5}$	$13\frac{3}{5}$	$13\frac{1}{5}$	$13\frac{2}{5}$	$13\frac{4}{5}$	14	$13\frac{1}{5}$	14
„ 1	$14\frac{1}{5}$	$15\frac{3}{5}$	$15\frac{2}{5}$	$14\frac{4}{5}$	$15\frac{2}{5}$	$14\frac{2}{5}$	$15\frac{3}{5}$	$16\frac{1}{5}$	$15\frac{1}{5}$

Digitized by Google

Umdrehung.	10	im Durchschnitt.	Reihenf.
Stift 4	$14\frac{4}{5}$	$14\frac{22}{45}$ }	*c*
„ 3	$13\frac{1}{5}$	$12\frac{31}{45}$ } $26\frac{5}{45}$ Sek. pro Hälfte.	*a*
„ 2	13	$13\frac{19}{45}$ }	*b*
„ 1		$15\frac{10}{45}$ } $29\frac{39}{45}$ „ „ „	*d*

Summe der beiden Hälften $55\frac{37}{45}$ Sek.
Unterscheid „ „ „ $3\frac{3}{5}$ „

Die Tabelle verhält sich genau wie die vorige, nur ist die Reihenfolge die umgekehrte: Stift 3—2—4—1. Dies stimmt völlig überein mit dem Übergewicht nach Zahn 23.

Jetzt stellte ich das Gewichtchen von 5,12 g in einer Entfernung von 40 mm anstatt von 80 mm von der Achse.

Umdrehung.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Stift 4	$14\frac{3}{5}$	$13\frac{3}{5}$	$13\frac{1}{5}$	15	$14\frac{1}{5}$	$13\frac{4}{5}$	$14\frac{4}{5}$	$13\frac{4}{5}$	$13\frac{4}{5}$
„ 3	$12\frac{4}{5}$	$12\frac{4}{5}$	$13\frac{2}{5}$	$13\frac{2}{5}$	13	14	13	$12\frac{3}{5}$	13
„ 2	$12\frac{4}{5}$	14	14	$13\frac{4}{5}$	$14\frac{4}{5}$	$13\frac{2}{5}$	$13\frac{3}{5}$	$14\frac{1}{5}$	$13\frac{2}{5}$
„ 1	15	$14\frac{1}{5}$	$14\frac{4}{5}$	$15\frac{3}{5}$	15	14	$15\frac{3}{5}$	$14\frac{3}{5}$	$14\frac{3}{5}$

Umdrehung.	10	im Durchschnitt.	Reihenf.
Stift 4	$13\frac{4}{5}$	$14\frac{8}{50}$ }	*c*
„ 3	13	$13\frac{6}{50}$ } $26\frac{43}{50}$ Sek. pro Hälfte.	*a*
„ 2	$13\frac{2}{5}$	$13\frac{37}{50}$ }	*b*
„ 1	$14\frac{4}{5}$	$14\frac{41}{50}$ } $28\frac{44}{50}$ „ „ „	*d*

Summe der beiden Hälften $55\frac{37}{50}$ Sek.
Unterschied „ „ „ $2\frac{1}{50}$ „

Die periodische Ungleichmässigkeit hat also ihre Orientierung beibehalten, nur ist ihre Grösse bedeutend herabgesunken.

Diese Versuchsreihen zeigen, dass die mit der gewöhnlichen Zentrierungsvorrichtung ganz

Digitized by Google

unentdeckbaren kleinen Übergewichte auch bei dem Pfefferschen Klinostaten eine starke periodische Ungleichmässigkeit der Rotation hervorzurufen im stande sind.

Bei der schnellen Achse erreicht diese Ungleichmässigkeit eine Grösse von mehreren Prozenten. Dass ein kleines Übergewicht die schnelle Achse stärker affiziert, ist aus der Konstruktion des Gehwerkes des Klinostaten leicht abzuleiten. Die schnelle Achse ist durch ein Getriebe mehr von der Feder getrennt als die langsame Achse, und die Kraft des Übergewichtes wirkt bei der schnellen Achse also mit einem viel grösseren Momente als bei der langsamen. Es ist dies wiederum ein neuer Beweis für die Tatsache, dass nur die exzentrische Belastung Ursache ist von der periodischen Ungleichmässigkeit der Rotation.

Die von einer Feder getriebenen Klinostaten haben sich bei horizontaler Achse als unzulänglich hingestellt. Wie die Motorklinostaten sich in dieser Hinsicht verhalten, darüber werden die jetzt folgenden Versuche Aufschluss geben.

Ich hatte nur den grossen Motorklinostaten zu meiner Verfügung, der nach den Angaben von Prof. J. W. Moll konstruiert worden war. Weil die anderen Motorklinostaten erhebliche Unterschiede in ihrer Konstruktion zeigen, sind die erhaltenen Resultate nicht ohne weiteres auf sie zu übertragen. Ich werde daher besonders hervorheben, welche Schlüsse auch für sie von Gültigkeit sind.

Die Oberfläche und der Umkreis der grossen gusseisernen Scheibe des Mollschen Klinostaten sind auf der Drehbank abgedreht worden. Es fiel dadurch leicht, den Umkreis genau in vier gleiche Teile zu verteilen. An diese Stellen wurden vier 2 mm dicke Kupferstifte in ein in radikaler Richtung eingebohrtes Loch befestigt. Die vier Stifte

Digitized by Google

wurden so abgefeilt, dass sie genau dieselbe Länge erhielten. Sie wurden in solcher Weise numeriert, dass sie in der Reihenfolge 1—2—3—4 einen fest stehenden Punkt passierten.

In der horizontalen Ebene, in welcher die Achse der Scheibe sich befand, stellte ich rechts ein Stück einer 5 mm breiten Uhrfeder, das in einem Stativ befestigt war. Das Stück ragte ungefähr 8 cm aus der Stativklemme hervor. Es wurde derart gestellt, dass es von den 4 Stiften berührt wurde ohne der Rotation einen merkbaren Widerstand zu leisten. Es wurde daher zwischen radial und tangential gerichtet nach der Seite, nach welcher die Stifte sich entfernten. Diese Stellung ist bei den Federn in Fig. 3 zu beobachten. Die Kontakte schlossen den Strom eines

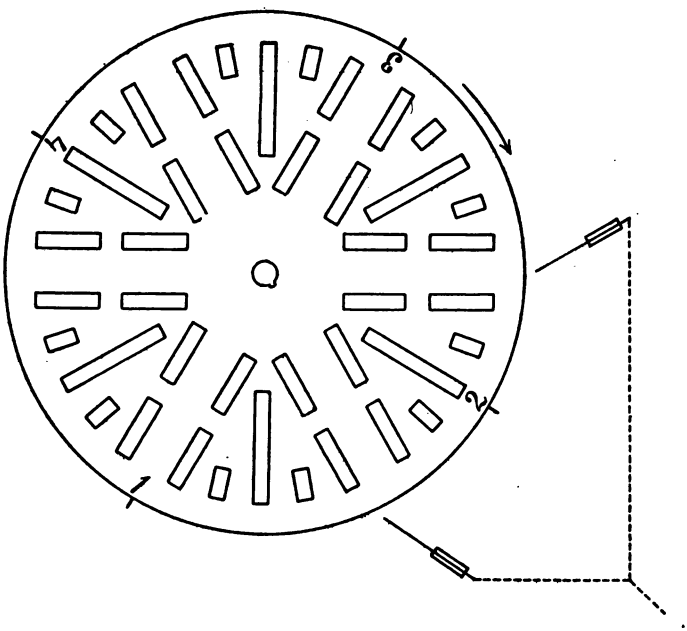


Fig. 3. Die Kontaktvorrichtung an der grossen Scheibe des Motorklinostaten. ($^1/_{10}$ der natürl. Grösse.)

Digitized by Google

Leclanché-Elementes, der dann eine elektrische Klingel ertönen machte.

So lange ich die Rotation bestimmte mit dem grossen Sekundenzeiger der früher beschriebenen Weckeruhr, oder mit zwei Chronographen, genügte der eine genannte Federkontakt. Später wurden die Zeiten mit nur einem Chronographen bestimmt, welcher wieder automatisch von zwei Kontakten durch einen Elektromagnet in Gang gesetzt und gehemmt wurde; also durch die automatische Chronographenmethode. Für den anderen Kontakt war ein zweites Stück Uhrfeder rechts unter der Scheibenachse gestellt, 65° von der ersten Feder entfernt, wie Fig. 3 angiebt. Die 65 Grade lieferten wieder das Maass für die Schnelligkeit einer Viertelumdrehung. Ich konnte dafür keinen viel grösseren Teil eines Quadranten nehmen, weil ich eine Rotationsgeschwindigkeit von ungefähr 6 Minuten wählte, d. i. etwa die doppelte Geschwindigkeit als die welche ich bei dem Wortmannschen Klinostaten benutzte.

Die in späterer Zeit angestellten Versuche wurden mit drei Kontaktfedern unternommen, von welchen die dritte den Chronographen wieder auf Null stellte, kurz bevor der folgende Stift sie wieder in Gang setzte. Dann konnten 80° eines Quadranten bestimmt werden.

Die Ablesung brauchte selbstverständlich nicht in demselben Zimmer vorgenommen zu werden als wo der Motorklinostat stand, wenn nur eine Drahtleitung angebracht wurde, welche die Arbeitsräume mit einander verband. Auch konnte ich hier die Wippe — als Relais — entbehren, weil die Federkontakte von dem Funken des stärkeren Akkumulatorenstromes nicht zu sehr beschädigt wurden.

Ich gebrauchte die obere Achse mit der grossen Riemenscheibe, und liess den Anlassrheostat im Stromkreis stehen. So wurde die Umlaufzeit von ungefähr 6 Minuten erhalten, wodurch ich in nicht zu langer Zeit eine genügend lange Versuchsreihe ablesen konnte.

Digitized by Google

Es konnte die Belastung kaum in Betracht kommen in Vergleichung mit dem Gewicht der grossen Scheibe von 39 kg. Sie bestand meistens aus 4 angeschraubten Eisenstäben, welche zur Befestigung der zu rotierenden Pflanzen dienen sollten; und aus einem sehr kurzen Stabe, worauf das Zinkblechkistchen mit feuchten Sägespänen festgeschraubt wurde. Die 4 längeren Stäbe waren symmetrisch über die Scheibe verteilt; der kurze Stab mit dem Kistchen war nicht zentrisch befestigt, doch stand er dem Mittelpunkt der Scheibe so nahe wie möglich, an der Seite des Kontaktstiftes 3.

Die Ursachen, welche Ungleichmässigkeiten in der Rotation verursachen könnten, sind hier etwa die folgenden:

1. Der Elektromotor läuft nicht immer mit derselben Schnelligkeit, es sei durch Schwankungen der Stromstärke, es sei durch innere Urachen des Motors.

2. Der Transmissionsriemen kann durch zu geringe Spannung mehr oder weniger über die Riemenscheiben gleiten.

3. Die Reibung in den Getrieben kann ungleichmässig sein.

4. Bei einer exzentrischen Belastung kann der Spielraum im Eingriff der Zähne des Gehwerkes verursachen, dass die Umdrehungsachse abwechselnd dem Gehwerk vorangeht oder vom Gehwerk geschoben wird.

5. Eine exzentrische Belastung kann in den beiden Hälften einer Umdrehung, worin der Schwerpunkt fällt resp. steigt, den Lauf des Motors abwechselnd beschleunigen resp. verlangsamen.

Die erstgenannte Ursache ist deutlich zu erkennen in den zu erwähnenden Versuchstabellen. Sie verursacht jedoch keine periodische Ungleichmässigkeit während einer Umdrehung.

Die zweite Ursache wird eine periodische Ungleichmässigkeit veranlassen können, sobald das Übergewicht

Digitized by Google

der Last einen gewissen Betrag übersteigt. Sie ist zumal bei denjenigen Motorklinostaten zu befürchten, welche eine Riementransmission haben an einer langsam drehenden, weit vom Motor entfernten Achse.

Die dritte Ursache kann wirksam sein, wo der Eingriff der Zähne durch ungenaue Bearbeitung der Maschinenteile nicht allseitig gleich ist. Sie wirkt zwar periodisch, doch stimmt die Periode meistens nicht überein mit der Umlaufzeit des Klinostaten und ist sie dadurch weniger schädlich. Nur wenn eine periodische Reibung an der Umdrehungsachse vorhanden ist, wie bei unserem Instrumente der Fall war, wird dieser Einfluss störend wirken.

Die vierte und fünfte Ursache haben sich in meinen Versuchen als verhängnisvoll für eine gute Wirkung herausgestellt. Die von ihnen veranlasste Ungleichmässigkeit fällt immer periodisch zusammen mit der Umlaufzeit der Umdrehungsachse.

In den Versuchstabellen werden die vier Quadranten einer Umdrehung wieder angedeutet als Stift 1, 2, 3 und 4. Bei den Ablesungen mit der Weckeruhr oder mit der einfachen Chronographenmethode bedeutet Stift 1 die Zeit, welche verläuft zwischen dem Kontakt von Stift 1 und dem Kontakt von Stift 2 mit der Feder, welche rechts in der horizontalen Ebene durch die Achse stand. Bei der automatischen Chronographenmethode bedeutet Stift 1 die Zeit, welche verläuft zwischen dem Kontakt von Stift 1 mit der ersten rechts gestellten Feder und mit der zweiten tiefer gestellten. In beiden Fällen wird durch „Stift 1" also derselbe Quadrant angedeutet.

Nachdem der Stromkreis des Motors geschlossen war, konnte ich noch nicht gleich mit den Ablesungen anfangen. Die Geschwindigkeit des Klinostaten war anfangs viel geringer und steigerte sich in den erstfolgenden Umdrehungen bedeutend, wie aus folgendem Beispiel ersichtlich.

Digitized by Google

18 Januar 1905.

Umdrehung.		1	2	3	4	.....	11	
Stift	1	112	$105\frac{1}{4}$	$96\frac{3}{4}$	$92\frac{1}{4}$	.....	86	Sek.
„	2	$109\frac{3}{4}$	97	$101\frac{3}{4}$	$93\frac{3}{4}$	.....	$87\frac{3}{4}$	„
„	3	$98\frac{1}{4}$	96	$99\frac{1}{4}$	$91\frac{1}{4}$	.....	$86\frac{1}{4}$	„
„	4	$101\frac{1}{4}$	96	$97\frac{3}{4}$	89	.....	$85\frac{3}{4}$	„

Die Zunahne der Geschwindigkeit dauert mehr als eine halbe Stunde. Nach einer Stunde ist immer die normale Grösse erreicht, so dass man nicht eher mit der Bestimmung der Gleichmässigkeit anfangen soll.

Eines Tages als der Klinostat lange rotiert hatte, hielt ich ihn während 2 Minuten an. Die Geschwindigkeit wurde sogleich bevor und nach der Ruhepause bestimmt und es stellte sich heraus, dass sie ganz dieselbe geblieben war. Wahrscheinlich gerät mithin der rotierende Motor im Anfang in einen Zustand, zum Beispiel durch innere Temperaturerhöhung, welcher die Geschwindigkeit des Motors beeinflusst und sich nicht während der kurzen Ruhepause wieder ausgleicht. Auch könnte die Ursache im Schmierungszustand des Gehwerkes des Klinostaten liegen.

Schon bei den ersten Versuchen erfuhr ich, dass die Rotation auch später nicht ganz gleichmässig wurde. In den meisten Fällen war die Zeit von Stift 2 länger als die anderen Zeiten, wodurch eine Periodizität der Ungleichmässigkeit bedingt war. Ich führe folgendes Beispiel an.

5 Januar 1905. Der Klinostat hatte seit dem vorigen Tage gelaufen. Ablesung mit dem grossen Sekundenzeiger der Weckeruhr.

Digitized by Google

Umdrehung.	1	2	3	4	5	6	7	im Durchschnitt.	
Stift 1	88	88	88	88	87	89	89	$88\frac{4}{7}$	$177\frac{4}{7}$ Sek. pro
„ 2	89	88	89	90	90	90	90	$89\frac{3}{7}$	Hälfte.
„ 3	87	87	88	87	88	88	89	$87\frac{5}{7}$	$176\frac{3}{7}$ Sek. pro
„ 4	88	89	89	89	89	88	88	$88\frac{4}{7}$	Hälfte.
		Summe	der beiden Hälften						$353\frac{6}{7}$ Sek.
		Unterschied	„ „ „						$1\frac{2}{7}$ „

Die Tabelle zeigt, dass die Rotation ziemlich gleichmässig ist. Die periodische Ungleichmässigkeit ist zwar gering, doch ist sie fast in jeder einzelnen Umdrehung zu erkennen. Anfänglich dachte ich, die so geringen Unterschiede den verschiedenen Entfernungen der 4 Kupferstifte zuschreiben zu müssen. Durch wiederholte Messung überzeugte ich mich, dass diese Entfernung bis auf einen Teil eines Millimeters dieselbe war, und 558 mm betrug. 1 mm ist weniger als 0,2 % von 558 mm; und 1 Sekunde ist mehr als 1 % von 89 Sekunden, so dass die Zeitunterschiede pro Quadrant weit grösser sind als die eventuellen Unterschiede in der Entfernung der Stifte.

Ich überzeugte mich nun zuerst davon, dass eine exzentrische Belastung grössere periodische Ungleichmässigkeiten hervorzurufen im stande war. Zwischen Stift 1 und 2 befestigte ich ein eisernes Gewicht von 4 kg an die Scheibe, nicht weit vom Umkreis entfernt. Zu gleicher Zeit hatte ich zwei Kistchen mit Sägespänen und Keimlingen an die Scheibe befestigt, deren geringes Gewicht nur sehr wenig Einfluss haben konnte wegen ihrer symmetrischen Befestigung.

11 Januar 1905. Der Klinostat hatte seit dem vorigen Tage gelaufen. Ablesung mit der einfachen Chronographenmethode.

Digitized by Google

Umdrehung.	1	2	3	4	5	im Durchschnitt.
Stift 1	$80\frac{2}{4}$	$80\frac{1}{4}$	$79\frac{3}{4}$	$79\frac{1}{4}$	$76\frac{1}{4}$	$79\frac{4}{20}$ }
„ 2	86	$86\frac{1}{4}$	$84\frac{3}{4}$	84	$84\frac{3}{4}$	$85\frac{18}{20}$ } $167\frac{5}{20}$ Sek. pro Hälfte.
„ 3	83	$82\frac{3}{4}$	$82\frac{2}{4}$	82	$80\frac{1}{4}$	$82\frac{2}{20}$ }
„ 4	$76\frac{2}{4}$	$76\frac{2}{4}$	$76\frac{1}{4}$	79	76	$76\frac{17}{20}$ } $156\frac{1}{20}$ „ „ „
Summe der beiden Hälften						$323\frac{3}{10}$ Sek.
Unterschied „ „ „						$11\frac{1}{5}$ „

Diese Tabelle zeigt eine viel grössere periodische Ungleichmässigkeit, welche vom starken Übergewicht verursacht wurde. Wenn das Übergewicht zwischen Stift 1 und 2 oben beinahe 45° weiter als die vertikale Linie gedreht war, sah ich jedesmal die Scheibe um einen kleinen Betrag fallen. Wenn dagegen das Übergewicht unten nach links gekommen war, blieb die Scheibe einen kurzen Augenblick stillstehen. Der Raum im Eingriff der Zähne verursachte hier also, dass das Übergewicht eine ansehnliche periodische Ungleichmässigkeit hervorrufen konnte.

Weil die Kontaktfeder rechts in der durch die Achse gehenden horizontalen Ebene stand, war die Beschleunigung durch das Fallen des Übergewichtes in der für Stift 4 angegeben Zeit begriffen, welche sich in der Tabelle als die kürzeste herausstellt. Stift 2 gebraucht die längste Zeit wegen des Stillstehens der Scheibe links unten.

Der Übergang von der 4ten in die 5te Umdrehung der Tabelle zeigt eine Abweichung. Die Grössenverhältnisse von Stift 4 und 1 sind hier gerade umgekehrt und ich sah, dass der Fall der Scheibe sich hier etwas verzögert hatte und eintrat als Stift 1 gerade die Kontaktfeder passiert hatte. Die Beschleunigung gehörte hier also zu der Zeit von Stift 1. Diese Abweichung zeigt, dass individuelle Differenzen in den Umdrehungen auch hier vorkommen, obwohl im allgemeinen die einzelnen Umdrehungen dieselbe

Digitized by Google

Orientierung der periodischen Ungleichmässigkeit zeigen als die durchschnittlichen Zahlenwerte.

Der Raum im Eingriff der Zähne ist nicht die einzige Ursache, welche dem Übergewicht einen so grossen Einfluss verleiht. Es beweisen dies die Zeiten für Stift 1 und 3, welche gleich lang hätten sein sollen, wenn der Lauf des Motors nicht vom Übergewicht beeinflusst worden wäre. Stift 1 braucht im Durchschnitt eine mehr als 2 Sekunden kürzere Zeit als Stift 3, und in diesen Zeiten senkt dass Übergewicht sich resp. steigt es.

Der in diesem Klinostaten gebrauchte Motor ist sehr kräftig, wie im vorigen Kapitel erwähnt wurde. Er rotiert mit Leichtigkeit die schwersten Lasten, welche jedoch schwierig genau zu äquilibrieren waren. Wenn dieser starke Motor schon in dieser Weise beeinflusst wird von einem Übergewicht von 4 kg auf der 39 kg schweren Scheibe, können wir nicht erwarten, dass die anderen Motorklinostaten in dieser Hinsicht besseres leisten würden.

Ich lasse erst noch eine Versuchstabelle folgen, welche den Einfluss eines Übergewichtes demonstriert und bei welcher ein Gewicht von 2 kg an einer anderen Stelle auf der Scheibe befestigt war als zwischen Stift 1 und 2. Ich habe diesen Versuch vor kurzem noch einmal angestellt, weil bei dem vorigen Versuch das Übergewicht zufälligerweise in der Richtung zwischen Stift 1 und 2 lag und die Zeit von Stift 2 auch in fast allen anderen Versuchen die längste war. Es ist hier die automatische Chronographenmethode benutzt worden mit 3 Kontakten, wobei 80° eines Quadranten gemessen wurden. Die Kontakte standen wie früher, so dass Stift 1 u. s. w. die nämlichen Zeiten andeuten.

4 Februar 1907. Scheibe nahe am Umkreis zwischen Stift 2 und 3 belastet mit einem Gewicht von 4 kg.

Digitized by Google

Umdrehung.	1	2	3	4	5	6	7
Stift 1	97	$99\frac{2}{4}$	$104\frac{2}{4}$	$106\frac{1}{4}$	$103\frac{3}{4}$	$101\frac{3}{4}$	$108\frac{2}{4}$
„ 2	100	$102\frac{1}{4}$	104	107	$103\frac{3}{4}$	103	$109\frac{2}{4}$
„ 3	100	102	$105\frac{3}{4}$	$106\frac{2}{4}$	$103\frac{3}{4}$	$104\frac{3}{4}$	$111\frac{1}{4}$
„ 4	102	$106\frac{3}{4}$	$108\frac{1}{4}$	$107\frac{3}{4}$	$104\frac{2}{4}$	$109\frac{2}{4}$	$113\frac{2}{4}$

Umdrehung.	8	9	im Durchschnitt.
Stift 1	$108\frac{3}{4}$	$111\frac{3}{4}$	$104\frac{22}{36}$ } $210\frac{9}{36}$ Sek. pro Hälfte.
„ 2	110	$111\frac{2}{4}$	$105\frac{23}{36}$ }
„ 3	113	112	$106\frac{20}{36}$ } $215\frac{17}{36}$ „ „ „
„ 4	$115\frac{2}{4}$	$112\frac{1}{4}$	$108\frac{33}{36}$ }

Summe der beiden Hälften $425\frac{13}{18}$ Sek.
Unterschied „ „ „ $5\frac{2}{9}$ „

Die Orientierung der periodischen Ungleichmässigkeit ist laut der Tabelle eine ganz andere geworden, und sie stimmt mit der veränderten Richtung des Übergewichtes überein. Die Zeit für Stift 4 ist die längste, weil das Übergewicht dann fortwährend steigt. Die Zeit für Stift 3 ist lang, weil das Übergewicht dann den unteren senkrechten Radius überschreitet. Die Zeiten für Stift 1 und 2 sind die kürzesten, weil das Übergewicht dann den oberen senkrechten Radius überschreitet resp. sich fortwährend senkt.

In dieser Versuchstabelle ist eine Verlangsamung der Rotation zu sehen, welche den Charakter der periodischen Ungleichmässigkeit nur sehr wenig ändert, weil sie alle Quadranten ungefähr in demselben Maasse verlängert. Indem ich die Ablesungen fortsetzte, zeigte es sich dass eine solche Verlangsamung mit dem Schmierungszustand der Zapfen u. s. w. des Gehwerkes zusammenhängen kann. Die nächstfolgenden Umdrehungen ergaben:

Digitized by Google

Umdrehung.	10	11	12	13	14
Stift 1	$110\frac{3}{4}$	118	$119\frac{1}{4}$	$111\frac{3}{4}$	$88\frac{1}{4}$
„ 2	$111\frac{3}{4}$	$118\frac{3}{4}$	119	98	$87\frac{3}{4}$
„ 3	$115\frac{3}{4}$	120	$116\frac{3}{4}$	$92\frac{1}{4}$	$89\frac{1}{4}$
„ 4	119	122	$107\frac{1}{4}$	$91\frac{3}{4}$	$91\frac{1}{4}$

Während der zwölften Umdrehung wurde das Gehwerk mit Öl geschmiert und gleich darauf war eine ansehnliche Beschleunigung der Rotation aus den abgelesenen Zeiten zu ersehen, wie die Tabelle zeigt.

Wie bei dem Wortmannschen Klinostaten, versuchte ich auch hier, ein genaueres Studium von der Umdrehung in kleinen Unterteilen zu machen. Es geschah dies wieder mit Hülfe des Chronoskopes. Erst benutzte ich das Kymographion, und liess die Scheibe des Klinostaten einen elektrischen Strom schliessen, jedesmal wenn ihr Umkreis 8 mm weiter rotiert war. Zu diesem Zweck wurde eine neue lange Bandsäge mittelst Schrauben um den Umkreis der Scheibe befestigt. Die Zähne ragten über die Oberfläche der Scheibe empor und waren 8 mm von einander entfernt. Sie berührten der eine nach dem anderen eine Kontaktfeder, wodurch — wie früher beschrieben — der Aluminiumschreibstift elektromagnetisch emporgehoben wurde und die Linie auf dem Russpapier des Kymographions den Kontakt somit registrierte. Die Wellenlinie des Chronoskopes unter der Klinostatenkurve zeigte wieder halbe Sekunden an.

Die Kurven zeigten, dass die Rotation in ihren Unterteilen sehr unregelmässig war; die Geschwindigkeit blieb kaum einen Augenblick konstant, doch die Veränderungen waren zwischen engen Grenzen beschlossen. Die aufeinanderfolgenden Umdrehungen zeigten keine Übereinstim-

Digitized by Google

mung derselben Unterteile. Die Unregelmässigkeiten rührten also nicht etwa von einer ungenauen Verteilung der Zähne der Bandsäge her. Der Unterschied zwischen den beiden Umdrehungshälften hatte fast immer dieselbe Orientierung; doch war sein Betrag nur gering, meistens zwischen 1 und 2 Sekunden.

Diese Methode wurde sehr vereinfacht, als ich die Bandsäge entfernte und den Umkreis der Scheibe mit aneinander geklebten Streifen Glacépapier bedeckte, welche mittelst der Petroleumflamme berusst wurden während einer Umdrehung der Klinostatenscheibe. Der Schreibstift der Mareyschen Trommel wurde schräg gegen die Oberfläche des Streifens gestellt und während der Rotation schrieb der Chronoskop die halben Sekunden direkt in den Russ auf dem Umkreis der Scheibe. Nach jeder Umdrehung zog ich das Stativ des Trommelchens ein wenig bei Seite, so dass 5 bis 7 Umdrehungen neben einander auf einen Streifen registriert werden konnten. Nachdem der Streifen durchgeschnitten und der Russ in Schellacklösung fixiert war, fing das Zählen und Messen der halben Sekunden an.

Wenn ich mit einem Lineal jedesmal die Entfernung von 10 halben Sekunden auf dem Streifen mass, waren diese Abstände immer um einen kleinen Betrag verschieden. Diese Unregelmässigkeit der Rotation ist vielleicht die Folge von der grossen inneren Reibung im Gehwerk des Klinostaten. Ich halte es für überflüssig, ein ausführliches Beispiel mitzuteilen. Nur gebe ich eine Tabelle welche das folgende zeigt. In jedem Oktant des Streifens wurde die Entfernung, welche in 80 halben Sekunden zurückgelegt war, in Millimetern gemessen. Daraus ist ein Maass für die durchschnittliche Schnelligkeit in jedem Oktante zu entnehmen, indem der gemessene Abstand etwas mehr als $^6/_7$ eines Oktantes einnimmt. 20 Januar 1905.

Digitized by Google

Umdrehung.	1	2	3	4	5	6	7	im Durchschnitt.	
Oktant 1	240	245½	242	237½	240	240	239½	240½	
„ 2	244½	243½	244	243½	243½	243	245½	244	
„ 3	245	246½	246½	243½	244	243	244	244½	976½ mm pro Hälfte.
„ 4	246	245	245½	244½	245	243½	242½	244½	
„ 5	244	245½	244½	242½	242	241½	243½	243½	
„ 6	244½	241½	244½	240½	240½	241½	238½	241½	965½ mm pro Hälfte.
„ 7	141½	243	244	242	247	242	247	244	
„ 8	242	240	243	238	241	238	234½	239½	

Summe der beiden Hälften 1942 mm.
Unterschied „ „ „ 11 „

Der Unterschied von 11 mm stimmt überein mit etwas weniger als 2 Sekunden, also mit einer periodischen Ungleichmässigkeit von derselben Ordnung wie sie auch mit den anderen Methoden gefunden wurde.

Die Kurven lehrten mich nun noch zweierlei. Erstens dass geringe Änderungen der Stromspannung sich sofort zeigten in der Rotationsgeschwindigkeit des Motors. Die Spannung im Laboratorium war 110 bis 113 Volt. Wenn ein Akkumulator der Batterie hinzugefügt oder ausgeschaltet wurde, vermehrte resp. verkleinerte die Geschwindigkeit des Klinostaten sich sogar derart, dass auch die Chronographenmethode dies gleich ans Licht brachte. Hierdurch kann jedoch keine periodische Ungleichmässigkeit entstehen. Zweitens zeigten die Kurven, dass ich auch hier künftig nur mit den Chronographen abzulesen brauchte. Denn wenn ich zugleich graphisch registrierte und mit den Chronographen die Zeiten bestimmte, erhielt ich denselben Betrag und dieselbe Orientierung der periodischen Ungleichmässigkeit, ungeachtet ihrer geringen Grösse.

Übrigens konnte ich aus den Kurven nur den Schluss ziehen, dass ein sehr genaues Studium der Rotationsunterteile wenig versprach und nicht die Mühe des vielen Zählens lohnen würde.

Digitized by Google

Über die Bestimmung der Ungleichmässigkeit brauche ich jetzt nur noch wenige Versuchstabellen mitzuteilen. Die meisten derselben dienten dazu, die Übereinstimmung zu untersuchen zwischen der periodischen Ungleichmässigkeit der Rotation und der geotropischen Reaktion der auf der Scheibe befestigten Pflanzen. Die erhaltenen sehr zahlreichen Tabellen zeigten eine periodische Ungleichmässigkeit, welche bei wenig belasteter Scheibe fast immer so orientiert war als wäre ein Übergewicht ungefähr bei Stift 1 vorhanden. Die Zeit für Stift 2 war mithin dann immer die längste; das Grössenverhältnis der 3 anderen Zeiten war ziemlich verschieden.

Es stellte sich jedoch heraus, dass die periodische Ungleichmässigkeit bei unbelasteter Scheibe nicht von einer einseitigen Gewichtsverteilung der Scheibe selbst verursacht wurde. Als ich später die Gleichmässigkeit der Rotation bei senkrechter Achse untersuchte, zeigte sich nämlich eine ebenso grosse periodische Ungleichmassigkeit, welche auch genau so orientiert war. Sei verschwand, als ich die im vorigen Kapitel erwähnte Bremsscheibe (Taf. V, 31) der Umdrehungsachse entfernte. Die geringe periodische Ungleichmässigkeit, welche bei horizontaler Achse einen Unterschied der beiden Umdrehungshälften von 1 oder 2 Sekunden verursachte, ist deshalb wahrscheinlich ebenso dieser Bremsscheibe zuzuschreiben. Meine Bestrebung, diese periodische Ungleichmässigkeit zu kompensieren durch Gewichte, welche ich in der Nähe von Stift 3 befestigte, hatten daher auch nicht den Erfolg dass eine Rotation ohne die geringste periodische Ungleichmässigkeit erreicht wurde. Es ist die Reibung der Umdrehungsachse gegen die Bremsscheibe dafür nicht konstant genug. Doch gelang es, die periodische Ungleichmässigkeit bis auf etwas weniger als eine Sekunde herabzusetzen, wie die folgenden Tabellen zeigen.

Die dabei erwähnten Kistchen, worin ich Keimlinge

Digitized by Google

rotieren liess, hatten, gefüllt mit feuchten Sägespänen oder Erde, ein Gewicht von etwas mehr als 1 kg.

19 Januar 1905. Der Klinostat hatte seit dem vorigen Tage gelaufen. Die Scheibe war belastet mit 2 symmetrisch befestigten Kistchen mit Sägespänen und Keimlingen. Ablesung mit der einfachen Chronographenmethode.

Umdrehung.	1	2	3	4	5	6	im Durchschnitt.
Stift 1		$86\frac{2}{4}$	$85\frac{3}{4}$	$85\frac{1}{4}$	86	$86\frac{1}{4}$	$85\frac{19}{20}$ }
„ 2		87	$87\frac{1}{4}$	$86\frac{3}{4}$	$87\frac{3}{4}$	$86\frac{3}{4}$	$87\frac{2}{20}$ } $173\frac{22}{120}$ Sek. pro Hälfte.
„ 3	$85\frac{2}{4}$	87	$85\frac{3}{4}$	86	$86\frac{1}{4}$	86	$86\frac{2}{24}$ }
„ 4	$86\frac{1}{4}$	$85\frac{3}{4}$	$86\frac{3}{4}$	86	$85\frac{3}{4}$	$85\frac{2}{4}$	$85\frac{23}{24}$ } $171\frac{109}{120}$ Sek. pro Hälftë.

Summe der beiden Hälften $345\frac{11}{120}$ Sek.
Unterschied „ „ „ $1\frac{33}{120}$ „

Stift 2 braucht die längste Zeit; die 3 anderen Zeiten sind fast gleich gross. Der Unterschied der beiden Hälften ist gering, wie bei unbelasteter Scheibe, denn die Belastung ist symmetrisch befestigt.

23 Januar 1905. Der Klinostat hatte seit dem vorigen Tage gelaufen. Nur 1 Kistchen mit Sägespänen und Keimlingen ist befestigt in der Nähe von Stift 3. Ablesung wie oben.

Umdrehung.	1	2	3	4	5	6	7	8
Stift 1	$90\frac{3}{4}$	$91\frac{2}{4}$	$91\frac{2}{4}$	$92\frac{2}{4}$	92	$92\frac{2}{4}$	$91\frac{3}{4}$	$91\frac{3}{4}$
„ 2	$92\frac{3}{4}$	92	$92\frac{3}{4}$	$92\frac{1}{4}$	$92\frac{3}{4}$	$92\frac{1}{4}$	$92\frac{3}{4}$	91
„ 3	91	$91\frac{3}{4}$	$91\frac{2}{4}$	$92\frac{1}{4}$	$92\frac{1}{4}$	$91\frac{3}{4}$	$91\frac{2}{4}$	91
„ 4	91	91	$91\frac{2}{4}$	91	$91\frac{2}{4}$	91	$90\frac{3}{4}$	$89\frac{3}{4}$

Digitized by Google

Umdrehung.	9	10	11	im Durchschnitt.
Stift 1	$91\frac{3}{4}$	$90\frac{1}{4}$	$91\frac{3}{4}$	$91\frac{28}{44}$ } $183\frac{32}{44}$ Sek. pro Hälfte.
„ 2	92	$90\frac{3}{4}$	$91\frac{3}{4}$	$92\frac{4}{44}$ }
„ 3	$91\frac{1}{4}$	$90\frac{3}{4}$	91	$91\frac{21}{44}$ } $182\frac{7}{44}$ „ „ „
„ 4	90	89	91	$90\frac{33}{44}$ }

Summe der beide Hälften $365\frac{39}{44}$ Sek.
Unterschied „ „ „ $1\frac{25}{44}$ „

Die periodische Ungleichmässigkeit ist fast wie oben. Die andere Befestigung der Belastung hat offenbar keinen sehr grossen Einfluss. Nur ist die Zeit von Stift 1 länger geworden, denn in dieser Zeit steigt das Gewicht bei Stift 3.

25 Januar 1905. Umstände wie oben; in der Nähe von Stift 3 waren jedoch jetzt 2 Kistchen mit feuchter Erde befestigt.

Umdrehung.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Stift 1	$90\frac{2}{4}$	90	$90\frac{1}{4}$	90	$90\frac{2}{4}$	$90\frac{3}{4}$	$90\frac{2}{4}$	$91\frac{1}{4}$	$90\frac{3}{4}$	$91\frac{2}{4}$
„ 2	90	$90\frac{1}{4}$	90	90	90	$90\frac{2}{4}$	90	91	91	$91\frac{2}{4}$
„ 3	$89\frac{3}{4}$	90	$89\frac{2}{4}$	$89\frac{3}{4}$	$89\frac{2}{4}$	90	90	$90\frac{3}{4}$	$90\frac{3}{4}$	$91\frac{1}{4}$
„ 4	89	$89\frac{3}{4}$	$88\frac{3}{4}$	89	$88\frac{1}{4}$	$89\frac{2}{4}$	$89\frac{3}{4}$	90	90	$90\frac{3}{4}$

Umdrehung.	11	12	13	14	im Durchschnitt.
Stift 1	91	$91\frac{1}{4}$	$91\frac{2}{4}$	91	$90\frac{43}{56}$ } $181\frac{16}{56}$ Sek. pro Hälfte.
„ 2	91	91	90	91	$90\frac{29}{56}$ }
„ 3	91	$91\frac{1}{4}$	90	90	$90\frac{14}{56}$ } $179\frac{50}{56}$ „ „ „
„ 4	$90\frac{1}{4}$	$90\frac{1}{4}$	90	$89\frac{3}{4}$	$89\frac{36}{56}$ }

Summe der beiden Hälften $361\frac{5}{28}$ Sek.
Untersch. „ „ „ $1\frac{11}{28}$ „

Digitized by Google

Die periodische Ungleichmässigkeit ist ungefähr wie oben; der Zeit von Stift 1 ist jedoch die grösste geworden, indem das stärkere Übergewicht bei Stift 3 in dieser Zeit steigt. Zwar ist die Zeit von Stift 4 noch immer die kürzeste, doch ist dies auf Rechnung des Reibungsminimums der Umdrehungsachse gegen die Bremsscheibe zu stellen.

11 Februar 1905; 2 Stunden nachdem der Motor in Gang gesetzt worden war. Ich hatte bei Stift 3, ein wenig nach der Seite von Stift 2, ein eisernes Gewicht von 2 kg befestigt. Dieses Übergewicht wirkte dem Reibungsmaximum der Umdrehungsachse entgegen und der Betrag der periodischen Ungleichmässigkeit verminderte dadurch bis auf weniger als 1 Sekunde, wie folgende Tabelle zeigt:

Umdrehung.	1	2	3	4	5	6	7	8
Stift 1	$90\frac{1}{4}$	90	$90\frac{3}{4}$	91	91	91	$90\frac{3}{4}$	$90\frac{3}{4}$
„ 2	$91\frac{1}{4}$	$91\frac{1}{4}$	91	$91\frac{3}{4}$	91	$91\frac{2}{4}$	$91\frac{1}{4}$	$91\frac{3}{4}$
„ 3	$90\frac{3}{4}$	$91\frac{1}{4}$	91	$91\frac{2}{4}$	91	$91\frac{3}{4}$	$91\frac{1}{4}$	$91\frac{1}{4}$
„ 4	$91\frac{1}{4}$	$90\frac{3}{4}$	$90\frac{1}{4}$	92	$90\frac{2}{4}$	$91\frac{3}{4}$	91	$91\frac{2}{4}$

Umdrehung.	9	im Durchschnitt.	
Stift 1	$90\frac{2}{4}$	$90\frac{22}{36}$	
„ 2	$91\frac{2}{4}$	$91\frac{13}{36}$	$182\frac{20}{36}$ Sek. pro Hälfte.
„ 3	91	$91\frac{7}{36}$	
„ 4	91	$91\frac{4}{36}$	$181\frac{26}{36}$ „ „ „

Summe der beiden Hälften $364\frac{5}{18}$ Sek.
Unterschied „ „ „ $\frac{5}{6}$ „

Die Zeit zumal von Stift 1 war noch zu kurz, weshalb ich jetzt ausser dem Gewicht von 2 kg noch ein Gewicht von ½ kg an die Scheibe befestigte zwischen Stift 3 und 4. Es verringerte sich der Unterschied der beiden Rotationshälften bis auf ungefähr $^1/_5$ Sekunde, wie folgende Tabelle zeigt.

Digitized by Google

13 Februar 1905; 1½ Stunden nachdem der Motor in Gang gesetzt worden war.

Umdrehung.	1	2	3	4	5	6	7	8
Stift 1	$90\frac{2}{4}$	$91\frac{1}{4}$	$91\frac{1}{4}$	$91\frac{2}{4}$	91	$91\frac{1}{4}$	$91\frac{1}{4}$	$90\frac{3}{4}$
„ 2	$90\frac{3}{4}$	$90\frac{2}{4}$	$91\frac{3}{4}$	$91\frac{2}{4}$	$91\frac{1}{4}$	91	$91\frac{1}{4}$	$90\frac{3}{4}$
„ 3	91	$91\frac{1}{4}$	91	91	$91\frac{2}{4}$	$90\frac{3}{4}$	$90\frac{3}{4}$	$90\frac{2}{4}$
„ 4	91	91	$91\frac{3}{4}$	$91\frac{3}{4}$	$91\frac{1}{4}$	$90\frac{3}{4}$	$91\frac{2}{4}$	90

Umdrehung.	9	im Durchschnitt.
Stift 1	$90\frac{2}{4}$	$91\frac{1}{36}$
„ 2	$90\frac{3}{4}$	$91\frac{3}{36}$ } $181\frac{35}{36}$ Sek. pro Hälfte.
„ 3	$90\frac{1}{4}$	$90\frac{32}{36}$
„ 4	$91\frac{1}{4}$	$91\frac{5}{36}$ } $182\frac{6}{36}$ „ „ „

Summe der beiden Hälften $364\frac{5}{36}$ Sek.
Unterschied „ „ „ $\frac{7}{36}$ „

Als ich 2 Tage später die Rotation unter diesen selben Umständen nochmals bestimmte, erhielt ich dieselbe Orientierung der periodischen Ungleichmässigkeit, doch der Unterschied der beiden Umdrehungshälften war jetzt zugenommen bis auf $^4/_5$ Sekunde. Ich nahm noch einige geringen Änderungen der Belastung vor, doch erreichte keine vollkommen gleichmässige Rotation. Die Reibung der Umdrehungsachse war für diesen Zweck zu veränderlich. Doch zeigen die angeführten Tabellen aufs deutlichste, dass selbst der schwere Mollsche Motorklinostat in der Gleichmässigkeit seiner Umdrehung sehr beeinflusst wird von einem Übergewicht der Belastung.

Es bleibt mir nun übrig, das Verhalten der Rotation bei senkrechter Umdrehungsachse zu beschreiben. Bei einer Neigung zur Horizontalen zwischen 0° und 90°

Digitized by Google

wird die Art der Rotation immer mehr dem Verhalten bei senkrechter Achse gleich werden, so dass ich diesen Fall ausser Betracht lassen kann.

Die Gleichmässigkeit der Rotation bei senkrechter Achse wurde bei folgenden Klinostaten untersucht:

a. Der Wortmansche Klinostat, schweres Modell, verfertigt von der Firma P. J. Kipp und Söhne.

b. Der Motorklinostat, konstruiert nach den Angaben von Prof. J. W. Moll.

Der Wortmannsche Klinostat wurde wieder bei der schnellsten der 3 Geschwindigkeiten untersucht, also mit einer Umlaufzeit von ungefähr 12 Minuten. Der Umkreis der horizontalen Messingscheibe auf dem oberen Achsenende wurde genau in 4 gleich grosse Teile verteilt. An diesen 4 Stellen wurden 4 Löcher gebohrt, worin 4 gleich lange Platinstifte befestigt wurden. Die 4 Stifte standen in derselben horizontalen Ebene.

Ich benutzte wieder die nämlichen Quecksilberkontakte, welche früher beschrieben wurden; nur war jedes Röhrchen senkrecht in einem kleinen leicht verstellbaren Stativ gefasst. Die Ablesungen fanden statt mit der automatischen Chronographenmethode mit 3 Kontakten, so dass die Zeit über 81° eines Quadranten bestimmt werden konnte, indem noch 9 Sekunden übrig blieben für die Beobachtung der Stellung des Sekundenzeigers. Ich führe nur wenige Versuchstabellen an. Diejenige, welche die gleichmässigste Rotation zeigte, ist die folgende.

27 Mai 1906. Scheibe unbelastet.

Umdrehung.	1	2	3	4	5	6	7	8
Stift 1	164$\frac{3}{4}$	165$\frac{3}{4}$	166	165$\frac{3}{4}$	165	165$\frac{3}{4}$	166	164$\frac{1}{4}$
„ 2	163$\frac{3}{4}$	163	164$\frac{3}{4}$	165	165$\frac{1}{4}$	166$\frac{3}{4}$	165$\frac{3}{4}$	161$\frac{1}{4}$
„ 3	164	164$\frac{3}{4}$	167	164$\frac{3}{4}$	166	168$\frac{1}{4}$	164$\frac{3}{4}$	163$\frac{1}{4}$
„ 4	163$\frac{3}{4}$	165	166$\frac{1}{4}$	165$\frac{1}{4}$	164$\frac{3}{4}$	166$\frac{1}{4}$	165$\frac{3}{4}$	160$\frac{3}{4}$

Digitized by Google

Umdrehung.	9	10	im Durchschnitt.	
Stift 1	$160\frac{3}{4}$	$161\frac{3}{4}$	$164\frac{21}{40}$	$327\frac{28}{40}$ Sek. pro Hälfte.
„ 2	$158\frac{3}{4}$	$159\frac{3}{4}$	$163\frac{15}{40}$	
„ 3	$161\frac{3}{4}$	159	$164\frac{13}{40}$	$328\frac{7}{40}$ „ „ „
„ 4	$160\frac{2}{4}$	$159\frac{1}{4}$	$163\frac{26}{40}$	

Summe der beiden Hälften $655\frac{35}{40}$ Sek.
Unterschied „ „ „ $\frac{19}{40}$ „

Es ist hier zwar eine periodische Ungleichmässigkeit zu erkennen, indem der zweite und vierte Quadrant schneller gehen als der erste und dritte. Doch ist der Betrag der Unterschiede gering. Und wenn an verschiedenen Zeitpunkten die Ablesungen wiederholt wurden, war die Grössenanordnung der Quadranten immer wieder verschieden. Es war also keine konstante und einseitig wirkende Ursache vorhanden.

1 Juni 1906. Scheibe in der Mitte belastet mit einem Topf mit feuchter Erde und Keimlingen, welche zusammen ein Gewicht von 1,05 kg hatten.

Umdrehung.	1	2	3	4	5	6	7
Stift 1	161	$159\frac{3}{4}$	162	$159\frac{3}{4}$	$161\frac{1}{4}$	$161\frac{3}{4}$	$162\frac{3}{4}$
„ 2	$159\frac{2}{4}$	$160\frac{3}{4}$	161	$159\frac{2}{4}$	$161\frac{3}{4}$	$162\frac{3}{4}$	$163\frac{3}{4}$
„ 3	161	$162\frac{1}{4}$	$160\frac{2}{4}$	$162\frac{3}{4}$	$165\frac{3}{4}$	$164\frac{3}{4}$	$164\frac{2}{4}$
„ 4	$161\frac{2}{4}$	$163\frac{3}{4}$	$159\frac{2}{4}$	$163\frac{1}{4}$	$163\frac{1}{4}$	164	$167\frac{3}{4}$

Umdrehung.	8	im Durchschnitt.	
Stift 1	166	$161\frac{25}{32}$	$323\frac{11}{32}$ Sek. pro Hälfte.
„ 2	$163\frac{2}{4}$	$161\frac{18}{32}$	
„ 3	$166\frac{2}{4}$	$163\frac{18}{32}$	$327\frac{3}{32}$ „ „ „
„ 4	$165\frac{3}{4}$	$163\frac{19}{32}$	

Summe der beiden Hälften $650\frac{7}{16}$ Sek.
Unterschied „ „ „ $3\frac{3}{4}$ „

Digitized by Google

Auch hier wurde bei Ablesungen des nämlichen Versuches an anderen Zeitpunkten eine etwas andere Grössenanordnung der Quadranten gefunden, jedoch war die Zeit von Stift 4 immer die längste und die von Stift 2 immer die kürzeste. Die periodische Ungleichmässigkeit zeigt sich somit auch hier, so bald nur die Scheibe eine normale Belastung trägt, welche schwierig ganz genau zu zentrieren wäre. Ich habe die Beziehung zwischen Übergewicht und Orientierung der Ungleischmässigkeit nicht untersucht.

Der Mollsche Motorklinostat wurde mit senkrechter Achse untersucht mittelst der automatischen Chronographenmethode mit 3 Kontaktfedern, welche so gestellt waren dass die Zeit über 80° eines Quadranten bestimmt wurde. Die Umlaufzeit wurde gewählt wie früher bei den Versuchen mit horizontaler Achse.

26 Mai 1906. Scheibe unbelastet.

Umdrehung.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Stift 1	79¾	83¾	78¼	82¼	78¾	82¾	84¾	82	80¾
„ 2	78¾	82¾	84¾	78¾	82¼	84	83¾	82	84
„ 3	82¾	84¼	75¾	78	78¼	83¼	83¼	85	81¾
„ 4	79¼	80¾	76¾	77¾	80¾	82¾	79	84	77

Umdrehung.	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Stift 1	76¼	76¼	77	83¾	82¾	77¼	82¾	77¾	78¾
„ 2	76¾	76¾	78¾	83	84	79¾	85¾	78¾	84
„ 3	75¾	76¼	78¼	79	77	82	77	78	84¼
„ 4	76¼	76¾	83	79¼	78¾	84¼	77¾	78¾	81

Digitized by Google

Umdrehung.	19		im Durchschnitt.
Stift 1	$82\frac{1}{4}$	$80\frac{26}{76}$	$161\frac{35}{76}$ Sek. pro Hälfte.
„ 2	82	$81\frac{39}{76}$	
„ 3	$76\frac{3}{4}$	$79\frac{57}{76}$	$159\frac{13}{76}$ „ „ „
„ 4	$76\frac{1}{4}$	$79\frac{32}{76}$	

Summe der beiden Hälften $321\frac{2}{76}$ Sek.
Unterschied „ „ „ $2\frac{52}{76}$ „

Ungeachtet der vielen Unregelmässigkeiten in der Rotationsgeschwindigkeit stellt sich die periodische Ungleichmässigkeit deutlich heraus. Die Zeit von Stift 2 ist die längste. Es war dies auch der Fall bei noch zwei anderen Versuchstabellen, welche unter gleichen Umständen mit senkrechter Achse erhalten wurden und resp. 15 und 22 Umdrehungen enthielten. Jedesmal genügten schon 10 Umdrehungen um die periodische Ungleichmässigkeit deutlich zu zeigen.

Ich entfernte jetzt die Bremsscheibe von der Umdrehungsachse und bestimmte die Rotation von neuem mit unbelasteter Scheibe. 28 Mai 1906.

Umdrehung.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Stift 1	82	$82\frac{1}{4}$	$82\frac{1}{4}$	$81\frac{3}{4}$	$82\frac{1}{4}$	$81\frac{1}{4}$	$81\frac{1}{4}$	$81\frac{2}{4}$	$81\frac{3}{4}$
„ 2	$82\frac{2}{4}$	82	$81\frac{2}{4}$	$81\frac{2}{4}$	$81\frac{3}{4}$	$81\frac{1}{4}$	$80\frac{3}{4}$	$81\frac{2}{4}$	$80\frac{3}{4}$
„ 3	$81\frac{1}{4}$	82	$81\frac{3}{4}$	82	$81\frac{1}{4}$	$81\frac{2}{4}$	$81\frac{1}{4}$	$81\frac{1}{4}$	$81\frac{1}{4}$
„ 4	$82\frac{1}{4}$	81	82	81	$81\frac{2}{4}$	$80\frac{3}{4}$	$81\frac{2}{4}$	$81\frac{3}{4}$	$81\frac{2}{4}$

Umdrehung.	10	11		im Durchschnitt.
Stift 1	$81\frac{2}{4}$	$82\frac{1}{4}$	$81\frac{36}{44}$	$163\frac{20}{44}$ Sek. pro Hälfte.
„ 2	82	$82\frac{1}{4}$	$81\frac{28}{44}$	
„ 3	$81\frac{2}{4}$	$82\frac{3}{4}$	$81\frac{27}{44}$	$163\frac{10}{44}$ „ „ „
„ 4	$81\frac{3}{4}$	$82\frac{3}{4}$	$81\frac{27}{44}$	

Summe der beiden Hälften $326\frac{15}{22}$ Sek.
Unterschied „ „ „ $\frac{5}{22}$ „

Digitized by Google

Die Tabelle zeigt eine besonders gleichmässige Rotation, welche fast ohne jede periodische Ungleichmässigkeit ist. Zwei andere Versuchstabellen, resp. über 14 und 22 Umdrehungen, ergaben dasselbe Resultat. Die Rotation war sehr gleichmässig und die scheinbare periodische Ungleichmässigkeit änderte jedesmal ihre Orientierung, so dass keine wirkliche Periodizität anwesend war.

Die Reibung der Bremsscheibe war also Ursache gewesen, dass gerade Stift 2 immer die längste Zeit brauchte.

Es folgt aus all dem angeführten dass sogar der Lauf dieses kräftigen Motors sehr beeinflusst wird durch ungleichmässige Reibungswiderstände, so wohl wie durch ein Übergewicht der Belastung. Man darf deshalb nicht von vornherein annehmen, dass ein Motorklinostat gleichmässig drehe wenn nur der Motor eine sehr viel grössere Kraft besitzt als für die von ihm verlangte Arbeit nötig ist.

Bei senkrechter Achse jedoch hat der Mollsche Klinostat ohne Bremsscheibe einen gleichmässigen Gang und ist er für heliotropische Versuche geeignet.

Eine schwere Belastung ändert die Regelmässigkeit seines Ganges bei senkrechter Achse nicht, wie ich aus einigen Versuchen erfuhr. Die genau horizontal gestellte Scheibe wurde dazu belastet mit einer Pflanze in einem Topf, welche zusammmen 31 kg wogen. Es machte dabei keinen Unterschied, ob der Topf in die Mitte oder nahe an den Rand der Scheibe gestellt wurde.

Bei horizontaler Achse kann die Bremsscheibe nicht gut entbehrt werden, weil sonst die Rotation zu unregelmässig wird durch die stetigen Änderungen im Eingriff der beiden konischen Zahnräder.

Bei unbelasteter Scheibe und horizontaler Achse tritt auch bei Entfernung der Bremse noch eine periodische Ungleichmässigkeit auf. Für die periodische Ungleichmässigkeit bei horizontaler Achse müssen also noch andere Ursachen bestehen als der genannte Reibungswiderstand

Digitized by Google

der Bremsscheibe und das eventuelle Übergewicht der Belastung.

Nachdem die Art der Rotation bei einigen Klinostaten jetzt ausführlich untersucht worden ist, müssen wir sehen, wie sich die nicht untersuchten Klinostaten verhalten in Bezug auf die Gleichmässigkeit ihrer Rotation. Dazu werde ich die Gruppen der Klinostatenformen besprechen in derselben Reihenfolge, worin sie im ersten Kapitel erwähnt worden sind. Ich fasse dabei nur das Verhalten bei horizontaler Achse ins Auge. Bei senkrechter Umdrehungsache werden mehrere Klinostaten wahrscheinlich gleichmässig rotieren können.

Die erste Gruppe bildeten die Klinostaten, welche früher als der Sachssche gebaut wurden. Es finden sich darunter keine Instrumente, welche für die heutigen Laboratorien noch einigen Wert hätten. Ihre Konstruktionen sind teils auch später angewendet worden, teils sind sie nur von historischem Interesse.

Von der zweiten Gruppe war der Sachssche Klinostat der wichtigste. Ich nenne sie Pendelklinostaten, indem sie von einem Gewichte getrieben und von einem Pendel reguliert werden. Ihre Tragkraft ist eine so geringe, dass sie nur wenig Anwendung gefunden haben. Bei genauer Zentrierung werden sie keine periodische Ungleichmässigkeit in der Rotation zeigen. Wohl aber bei einem geringen Übergewicht, wegen des Spielraumes im Eingriff der Zähne, wie auf Seite 181 erklärt wurde. Die Pendelregulierung wird von dem geringen Übergewicht wenig beeinflusst; bei etwas grösserem Übergewicht jedoch kommt die Rotation zum Stehen, so dass die periodische Ungleichmässigkeit hier nie einen ansehnlichen Betrag erreichen kann.

Die Klinostaten der dritten Gruppe sind Federklinostaten mit Ankerregulation. Sie sind viel

Digitized by Google

mehr gebraucht worden und rotieren bei genauer Zentrierung der Last ziemlich gleichmässig. Doch ist ihre Tragkraft gering und werden in den meisten Fällen periodische Ungleichmässigkeiten von geringem Betrage nicht zu vermeiden sein, erstens wegen des Spielraumes im Gehwerk, zweitens wegen der Beeinflussung des Ganges durch das eventuelle geringe Übergewicht. Bei grösserem Übergewicht kommt auch hier der Klinostat bald zum Stehen, so dass die periodische Ungleichmässigkeit keinen grossen Betrag erreichen wird.

Die Federklinostaten mit Flügelregulation stellen die vierte Gruppe dar. Hierzu gehören der Pfeffersche und der Wortmannsche Klinostat, welche die ausgedehnteste Anwendung gefunden haben. Ich habe gezeigt, dass ihr Gang vom dem geringsten Übergewicht beeinflusst wird, und dass bei vielen Versuchen Übergewichte von solchem Betrage unentdeckt bleiben dass daraus grosse periodische Ungleichmässigkeiten in der Rotation entstehen. Die üblichen Zentrierungsvorrichtungen sind nicht im stande, die Lasten genügend zu zentrieren und wenn sie es schon könnten, würde die Zentrierung durch Wasserverlust und dergleichen doch nach kurzer Zeit wieder so unvolkommen sein, dass von neuem eine periodische Ungleichmässigkeit eintreten würde.

Die erst in jüngerer Zeit gebrauchte fünfte Gruppe, die der Motorklinostaten, verspricht besseres als die vier anderen Gruppen. Nur ist zu beachten, dass auch die Rotation eines kräftigen Motors von einem Übergewicht beeinflusst wird. Offenbar wird darauf nicht genug geachtet, denn K. Linsbauer nennt als einen besonderen Vorzug des Wiesnerschen Motorklinostaten, „dass das zeitraubende Äquilibrieren der Versuchstöpfe, welches die Uhrwerkklinostaten verlangen, hier vollständig in Wegfall kommt. Der Motor ist hinreichend kräftig, um auch bei horizontaler Achse vollkommen exzentrisch fixierte Blumen-

Digitized by Google

töpfe zu rotieren" [1]). Newcombe dagegen giebt die Notwendigkeit des Zentrierens zu, wo er sagt: „Of course, the loads must be balanced, and this is done as on any Klinostat" [2]).

Ein Ubergewicht der Belastung kann durch die auf Seite 255, unter 2, 4 und 5 genannten Ursachen eine periodische Ungleichmässigkeit der Rotation verursachen. Bei der Konstruktion eines Motorklinostaten soll man diesen Ursachen Rechnung tragen und mithin dafür sorgen, dass eine gute Zentrierung, eine gute Regulierung der Riemenspannung und ein spielfreier Gang möglich sind. Selbstverständlich dürfen keine ungleichmässigen Reibungen vorkommen, deren Periode mit dem Umlauf der Umdrehungsachse zusammenfällt.

---

1) K. Linsbauer, Universalklinostat mit elektrischem Betrieb nach Prof. J. Wiesner, l. c. 1904, S. 36

2) F. C. Newcombe, Klinostats and Centrifuges for physiological Research, l. c. 1904, S. 433.

Digitized by Google

KAPITEL III.

Der Einfluss einer periodischen Ungleichmässigkeit der Klinostatendrehung auf die Wurzeln von Keimlingen.

Die Hauptforderung, welche einem Klinostaten gestellt werden soll, ist dass ihre Rotation eine gleichmässige sei. Scheinbar genügen die gebräuchlichen Klinostaten dieser Forderung. Ihre Erfinder haben Gewicht darauf gelegt, eine gelinde und stossfreie Rotation zu erhalten welche mittelst Flügelregulation oder in anderer Weise erreicht wurde.

In dem vorigen Kapitel ist gezeigt worden, dass eine solche Rotation oft gar keine gleichmässige zu sein braucht. Sie zeigt nur zu leicht eine periodische Ungleichmässigkeit, welche den Zweck der Ausschliessung geotropischer Krümmungen verfehlen lässt. Wie klein diese periodischen Ungleichmässigkeiten sein dürfen um doch noch geotropische Krümmungen hervorrufen zu können, wird aus den in diesem Kapitel beschriebenen Versuchen hervorgehen. Zugleich wird gezeigt werden, dass die nicht periodischen Schnelligkeitsänderungen der Motorklinostaten und die ruckweise Rotation des von mir konstruierten Klinostaten den Zweck des Klinostaten wenig beeinträchtigen.

Es liegen nur wenige Untersuchungen vor über die genauere Bestimmung von Reizschwellen und Unterschieds-

Digitized by Google

schwellen der geotropischen Sensibilität der Pflanzenorgane. Einen wichtigen Beitrag dazu wurde neuerdings von H. Fitting[1]) geliefert. Auf Grund seiner Experimente mit zum Teil neu ausgedachten Versuchsmethoden kommt Fitting zu dem Schluss, dass die Pflanzen in jedem kleinsten Zeitpunkt den Schwerereiz zu perzipieren vermögen[2]) und dass geotropische Reaktionen schon ausgelöst werden von viel schwächeren Reizen als bisher bekannt war. Fitting arbeitete jedoch nicht mit der Methode der ungleichmässigen Umdrehung der Klinostatenachse. Er gab den Vorzug seiner „Methode der gleichmässigen Umdrehung der schräg gestellten Klinostatenachse bei Kombination von Stellungen, in denen die geotropischen Erregungen eine verschiedene Grösse haben" [3]). Doch hat er „oft genug gesehen, dass geotropische Erfolge schon dann am Klinostaten eintreten können, wenn die Zentrierung der Achse nicht genau vorgenommen worden war, sowohl bei schneller wie auch bei langsamer Rotation" [4]).

Fitting erwähnt nicht, wie gross die Ungenauigkeit der Zentrierung und wie gross die daraus resultierende Ungleichmässigkeit der Rotation sein soll um eben den Beginn einer geotropischen Reaktion hervorzurufen.

M. Wachtel[5]) erwähnt einen Versuch mit „constanter schneller Drehung (1 Umlauf in 4½ Minuten), aber mit ungleichmässiger Geschwindigkeit (in der oberen und unteren Hälfte des Umlaufs waren die Drehungsgeschwin-

---

1) H. Fitting, Untersuchungen über den geotropischen Reizvorgang. Jahrb. für wiss. Botanik, Bd. 41, 1905, S. 221.

2) l. c. S. 303.

3) l. c. S. 290.

4) l. c. S. 290.

5) M. Wachtel, Zur Frage über den Geotropismus der Wurzeln. Schriften der Naturforschergesellschaft in Odessa, Bd. 23, 1899 (in russischer Sprache). Zitiert nach dem Referat von W. Rothert in Bot. Ztg., Bd. 57, IIte Abt. 1899, Sp. 227.

Digitized by Google

digkeiten um ca. 1 Minute verschieden)" [1]). Die Wurzeln zeigten geotropische Krümmungen, indem die periodische Ungleichmässigkeit also 1 Minute von 4½ Minuten, d. i. ungefähr 22% betrug.

H. Dutrochet erhielt ebenfalls geotropische Krümmungen bei Keimlingen, welche mit ungleichmässiger Schnelligkeit um eine horizontale Achse rotierten. Er bestimmte die Ungleichmässigkeit der Rotation mittelst eines Pendels, das halbe Sekunden markierte und fand, dass bei einer Umdrehungszeit von 2 Minuten die eine Hälfte einer Umdrehung in 54 Sekunden, die andere Hälfte in 66 Sekunden zurückgelegt wurde [2]). Die periodische Ungleichmässigkeit war also 8 Sekunden oder $6^2/_3$ %.

Eine noch viel grössere Empfindlichkeit der Pflanzenorgane für ungleichmässige Rotation wird von F. C. Newcombe [3]) angegeben. Er erwähnt die Notwendigkeit einer guten Zentrierung der Belastung und lässt darauf folgen: „It has been shown in my own laboratory that, in a speed of one revolution in ten minutes, a periodic retardation of but a second or two, due to excentricity of load, will cause, after a long interval, a geotropic curve by the summation of stimuli" [4]).

Näheres wird hierüber nicht mitgeteilt. Es ist daher nicht deutlich, ob die Achse während jeder Umdrehung von 10 Minuten einmal 2 Sekunden still stand, oder ob die zwei Hälften der Umdrehung in um 2 Sekunden verschiedenen Zeiten zurückgelegt wurden. Die periodische

---

1) l. c. Sp. 232.

2) H. Dutrochet, l. c. 1824, S. 147—148. Dasselbe in H. Dutrochet, l. c. 1837, S. 46.

3) F. C. Newcombe, Limitations of the klinostat as an instrument for scientific research. Science, N. S., Vol. 20. N°. 507, 16 Sept. 1904, S. 376—379.

4) l. c. S. 2 des Separatabdrucks.

Digitized by Google

Ungleichmässigkeit beträgt hier nur $^1/_3$ %. Mir ist nicht bekannt, ob irgendwo die Versuchsanstellung beschrieben oder das benutzte Pflanzenmaterial angedeutet worden ist.

Ich werde jetzt die Versuche beschreiben, welche die ausserordentlich grosse Empfindlichkeit der Keimwurzeln für eine periodische Ungleichmässigkeit der Rotation ans Licht bringen. Es wird in dieser Schrift noch nicht die Rede sein von der genauen Bestimmung einer unteren Reizschwelle. Zweck ist nur, zu beweisen dass diese Schwelle so niedrig ist, dass sie überragt wird von der unvermeidlichen periodischen Ungleichmässigkeit der jetzt gebrauchten Klinostaten.

Das von mir benutzte Material bestand aus Keimwurzeln der folgenden Pflanzen:

a. *Vicia faba* L., grosssamige Varietät (Gartenpuffbohne).

b. *Vicia faba* L., mittelgrosssamige Varietät (grosse Ackerbohne).

c. *Vicia faba* L., kleinsamige Varietät (kleine Ackerbohne).

d. *Lupinus albus* L.

e. *Pisum sativum* L., (grüne Erbse).

Keimwurzeln bieten für diese Versuche die folgenden Vorteile:

a. Sie sind geotropisch sehr empfindlich.

b. Sie wachsen in einem dunklen Boden, wodurch Unterschiede von Licht und Feuchtigkeit keinen Einfluss üben können.

c. Sie sind so klein, dass viele Exemplare in einem Rezipienten gepflanzt und zugleich gedreht werden können.

d. Die Befestigung an die Achse wird dadurch sehr erleichtert.

e. Die individuellen Unterschiede werden durch die Menge der Pflanzenexemplare mit genügender Sicherheit eliminiert.

Bei geotropischen Untersuchungen ist das letztgenannte

Digitized by Google

eine sehr wichtige Sache. Nur zu leicht können individuelle Abweichungen der Versuchspflanzen zu irrigen Schlüssen Anlass geben, zumal bei Keimwurzeln, denn diese führen sehr oft spontane Nutationen aus. Dieser Umstand hat gewiss einen wichtigen Einfluss geübt zu-Gunsten des Baues der grossen Klinostaten, welche zahlreiche Versuchspflanzen zugleich drehen können.

Die gestellte Frage ist nur auf statistischem Wege zu beantworten. Bei den angewendeten, sehr geringen geotropischen Induktionen, zeigen sich so kräftige spontane Nutationen der Keimwurzeln, dass eine gewisse Zahl der letzteren nötig ist um eine etwa bevorzugte Wachstumsrichtung erkennen zu lassen. Wenn Keimwurzeln parallel mit der horizontalen Klinostatenachse befestigt werden, zeigen sie während einer gleichmässigen Rotation doch Ablenkungen ihrer Wachstumsrichtung, so dass kaum ein einziges Exemplar gerade fortwächst und fast alle Wurzeln ansehnliche Krümmungen erhalten. Solche Erfahrungen werden von mehreren Autoren beiläufig erwähnt. Meine Versuche haben mir die Überzeugung gegeben, dass die Keimwurzeln im Boden nur deshalb senkrecht nach unten wachsen, weil der geotropische Reiz unaufhörlich tätig ist um die spontanen Nutationen und die von äusseren Hindernissen verursachten Krümmungen wieder auszugleichen.

Die Samen wurden während 24 Stunden in Wasser geweicht. Dann pflanzte ich sie in lockere Sägespäne in einer grösseren Holzkiste. Die grossen und mittelgrossen Puffbohnen wurden einzeln mit der Mikropyle abwärts gepflanzt. Die kleineren Samen anfangs auch; bei den späteren Versuchen legte ich sie flach, indem die Keimwurzeln sich doch sogleich beim Austreten aus der Samenhülle senkrecht nach unten krümmten.

Nachdem die Wurzeln die gewünschte Länge erreicht hatten, wurden Keimlinge mit gesunden und geraden Wurzeln in die Kistchen mit feuchten Sägespänen oder feuchter

Digitized by Google

Erde gepflanzt, welche auf dem Klinostaten rotieren sollten. Die Kistchen waren aus $6^1/_2$ mm dickem Lindenholz oder aus dünnen perforiertem Zinkblech angefertigt und hatten Teilungswände, damit der Keimbodem beim Rotieren nicht durch Druck eine ungleichmässige Verteilung erhielt. Die hölzernen Kistchen waren auswendig $13^1/_2$ cm lang, $11^1/_4$ cm breit und $9^1/_2$ cm hoch; sie hatten einen Deckel von perforiertem Zinkblech. Das Zinkblechkistchen war etwas grösser. Der Keimboden wurde vor dem Anfang eines jeden Versuches zwischen den Händen gerieben und war nicht zu locker und nicht zu fest angedrückt. Die benutzte Erde war ein Gemenge von gleichen Teilen Humus und Sand. Ich bohrte mit einem Glasstab für jeden Keimling ein Loch, worin der Keimwurzel gesteckt wurde. Die Länge der benutzten Keimwurzeln schwankte in den meisten Fällen zwischen 1 und 3 cm.

Um jeden Einfluss der Orientierung im Kistchen zu vermeiden, pflanzte ich die Keimlinge so, dass nach jeder der 4 Richtungen des Kistchens dieselbe Anzahl von Nabelenden der Puffbohnen gerichtet war, wie in Fig. 4 ersichtlich ist. Die eventuelle Sachssche Krümmung wurde selbstverständlich später nicht mitgerechnet.

Bei den späteren Versuchen, welche mit Samen von *Lupinus albus* angestellt wurden, pflanzte ich die geweichten Samen gleich in die Versuchskistchen. Die Exemplare in der grossen Holzkiste, welche zur Kontrolle dienten, zeigten mir wann die gewünschte Länge der Wurzeln erreicht war. Dieses Verfahren hatte den Nachteil, dass die Keimlinge nicht sorgfältig gewählt werden konnten, und den Vorteil, dass keine durch das Einpflanzen verursachten Störungen eintreten konnten. Ich konnte es zumal darum anwenden, weil bei diesen späteren Versuchen eine sehr grosse Zahl der Keimlinge für denselben Versuch benutzt wurde.

Die Undrehungsachse des Klinostaten wurde mit Hülfe

Digitized by Google

einer Wasserwage horizontal gestellt. Die Kistchen wurden so befestigt, dass die Wurzel sich immer parallel mit der Achse befanden. Die Rotation dauerte für jeden Versuch zwischen 16 und 28 Stunden.

Indem das Kistchen schnell auf die Achse befestigt und äquilibriert wurde, erhielt es verschiedene Stellungen, deren geotropische Induktionen sich gewiss ziemlich genau kompensiert haben.

Die Temperatur der Umgebung wurde bestimmt mit Hülfe zweier selbstregistrierenden Thermometer. Sie war in den meisten Fallen ungefähr 18° Celsius und wegen der zentralen Heizung des Laboratoriums fast konstant. Die spätesten Versuche fanden statt in einem Zimmer, worin durch komplizierte Vorrichtungen eine konstante Temperatur erhalten werden kann. Ich hielt die Temperatur auf 25° Celsius.

Bei jedem Versuch ist angegeben, durch welche Methode die Rotation bestimmt wurde. Diese Bestimmung geschah 2 oder 3 Mal während jedes Versuches, wobei immer dieselbe Orientierung der periodischen Ungleichmässigkeit gefunden wurde. Ich erwähne im folgenden nur die Durchschnittszeiten der 4 Quadranten.

Die Orientierung der periodischen Ungleichmässigkeit in Bezug auf die Richtung der Schwere ist bestimmt durch die Zeiten der 4 Kontaktstifte und die Stellung der Kontaktfeder.

Bevor die Versuchskistchen vom Klinostaten genommen wurden, notierte ich die Stellung der Kistchen in Bezug auf die 4 Stifte, was leicht geschehen konnte, weil sich auf jedem Kistchen ein Merkmal befand.

Ich nahm die Keimlinge mit einer Pinzette aus dem geöffneten Kistchen und achtete auf die Richtung, nach welcher die Wurzel eventuell gekrümmt war. Dabei stellte ich mich über das Kistchen um diese Richtung genau zu bestimmen. Dam wurde in einen Grundriss des Kistchens

Digitized by Google

der Samen mit der Krümmungsrichtung der Wurzel eingezeichnet, wie Fig. 4 zeigt.

Im Anfang achtete ich genau auf die Stelle und Orientierung des Samens im Kistchen, die Länge der Wurzeln vor und nach dem Versuch, die Entfernung des Krümmungspunktes von der Spitze der Wurzel, und den Krümmungswinkel. Es war daraus jedoch nichts besonderes zu schliessen. Zwischen Orientierung, Wachstumsschnelligkeit und Krümmungswinkel einerseits und Krümmungsrichtung andrerseits war nicht die geringste Beziehung zu entdecken. Bei der grossen Menge der Versuchspflanzen habe ich in späteren Versuchen deshalb nur die Krümmungsrichtung der Wurzeln in den Grundrissen der Kistchen eingezeichnet.

Die Krümmungsrichtungen der Keimwurzeln in dem Grundriss wurden in der Form einer Rosette zusammengestellt, wie Fig. 5 zeigt. Die Übereinstimmung der Teile des Grundrisses und der Rosette ist hier durch Buchstaben angedeutet. Keimwurzeln, welche nicht gekrümmt waren oder welche eine ganz unregelmässige Krümmung in mehr als einer Richtung zeigten, wurden als Punkte innerhalb des Kreises der Rosette angedeutet, damit die ganze Zahl der Keimlinge aus der Rosette zu bestimmen wäre.

Bei fast allen Versuchen wurde die Orientierung der periodischen Ungleichmässigkeit nicht eher aus den Chronographenablesungen bestimmt als wenn die Rosette vollendet war. Dies geschah, weil mitunter etwas schiefe Krümmungen bei einzelnen Keimwurzeln vorkamen, welche einigen Spielraum in der genauen Bestimmung der Richtung erlaubten. Es musste hier die Richtung vorurteilsfrei bestimmt werden können. Wenn ich zuvor diese Orientierung schon kannte, sorgte ich dafür, die Stelle des Merkmals an der Unterseite des Kistchens nicht zu kennen.

Durch Kontrollversuche überzeugte ich mich fortwährend von der geotropischen Empfindlichkeit meines Materiales. Die Krümmungen der rotierenden Keimwurzeln waren

Digitized by Google

bisweilen ziemlich plötzlich, bisweilen mehr abgerundet, indem der Betrag des Krümmungswinkels die grösste Verschiedenheit aufwies.

Ich führe jetzt ein Beispiel ausführlich an, mit Angabe des Grundrisses des Versuchskistchens. Die übrigen Beispiele können dann kurz behandelt werden.

24 Januar 1905.

Vicia faba, kleinsamige Varietät, in Sägespäne gepflanzt. Als die Keimwurzeln ungefähr 1¼ cm lang waren, wurden 23 Keimlinge in ein hölzernes Kistchen mit feuchter Erde gepflanzt. Das Kistchen wurde auf die Scheibe des Motorklinostaten befestigt und rotierte während 18 Stunden. Temperatur 18°—19° Celsius. Die Rotation wurde bestimmt mit der einfachen Chronographenmethode.

Stift 1	$91\frac{28}{44}$	$183\frac{25}{44}$ Sek. pro Hälfte.	
„ 2	$91\frac{41}{44}$		
„ 3	$91\frac{21}{44}$	$182\frac{3}{44}$ „ „ „	
„ 4	$90\frac{38}{44}$		
Summe der beiden Hälft.		$365\frac{7}{11}$ Sek.	
Untersch. „ „ „		$1\frac{1}{2}$ „ , d. i. < ½ %.	

Die Umdrehung ist am langsamsten, wenn Stift 2 von rechts nach unten dreht, denn die Kontaktfeder steht rechts in der horizontalen Ebene durch die Achse. Daraus ist zu schliessen, dass der Radius, welcher am längsten in der Nähe des niedrigsten Punktes der Umdrehung verweilt, durch einen Punkt zwischen Stift 1 und 2 geht. Wenn der 1e und 2e Quadrant gleich lange dauerten würde dieser Radius gerade durch Stift 1 gehen; jetzt liegt er mehr nach der Seite von Stift 2.

Die geotropische Induktion ist bei der ungleichmässigen Drehung nicht nach allen Seiten gleich gross. Je länger die Keimwurzeln mit einer bestimmten Seite nach unten

Digitized by Google

gewendet stehen, desto grösser wird die Induktion nach dieser Seite. Der genannte Radius zwischen Stift 1 und 2 deutet mithin diejenige Seite der Keimwurzeln an, welche die grösste geotropische Induktion empfindet. Ich werde ihn die Richtung der maximalen geotropischen Induktion nennen. Ihm gegenüber steht die Richtung der minimalen Induktion. Rechts und links von der Mittellinie, in welcher diese zwei Richtungen liegen, sind die Grössen der geotropischen Induktionen ungefähr symmetrisch verteilt und zwar so, dass diese Grösse von der maximal bevorzugten bis zur minimal bevorzugten Richtung stetig abnimmt.

Wenn die Unterschiede der Induktionen genügen um eine geotropische Krümmung der Keimwurzeln hervorzurufen, wird diese der Richtung der maximalen Induktion zugewendet sein. Man könnte sich denken, dass die Induktionen auf dem Querschnitt des geotropisch empfindlichen Teiles der parallel mit der Umdrehungsachse gestellten Keimwurzeln sichtbar wären. Sie würden dann gerade die beschriebene Anordnuug zeigen, d. h. ihre Grössen würden symmetrisch verteilt sein in Bezug auf die Richtung der maximalen Induktion. Die Wurzeln können so die Richtung der Schwere empfinden, wenn nur die Grössenunterschiede die Unterschiedsschwelle übersteigen.

Das Kistchen wurde am Ende der 18 Stunden geöffnet und ich bestimmte die Krümmungsrichtung der Keimwurzeln, wie Fig. 4 abbildet.

Digitized by Google

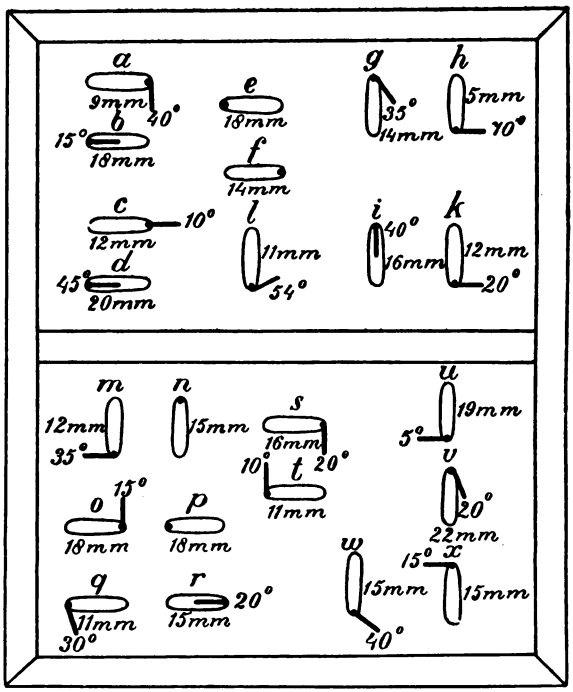


Fig. 4.

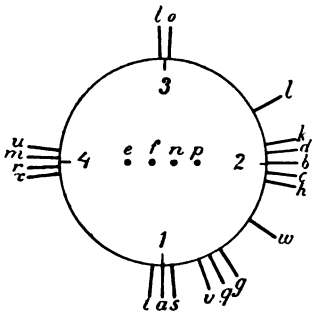


Fig. 5.

Aus diesem Grundriss des Kistchens mit den Keimlingen resultiert die Rosette in Fig 5. Die Wurzeln sind nicht alle nach der Richtung zwischen Stift 1 und 2 gekrümmt. Offenbar ist ihre Krümmungsrichtung nicht nur von den geotropischen Reizen, sondern auch noch von anderen Ursachen bedingt. Es sind dies ohne Zweifel die spontanen Nutationen und die zufälligen äusseren Hindernisse. Diese beiden Ursachen bedingen jedoch durchschnittlich eine allseitig symmetrische Anordnung der Krümmungsrichtungen. Wenn daher die Rosette eine einseitige Anordnung der Krümmungsrichtungen zeigt und die bevorzugte Richtung immer mit der Richtung der maximalen geotropischen

Digitized by Google

Induktion zusammenfällt, dürfen wir annehmen dass diese beiden Erscheinungen ursachlich mit einander zusammenhangen. In unserem Fall sind von den 23 Keimwurzeln 13 nach der Hälfte gekrümmt welche den Quadrant 1 bis 2 enthält, nämlich a, b, c, d, g, h, i, k, l, q, s, v, w; 6 nach der entgegengesetzten Hälfte, nämlich m, o, r, t, u, x; 4 zeigen keine bestimmte Krümmungsrichtung, von welchen p ihre gerade Richtung behalten hat und e, f und n mehrere unregelmässigen Krümmungen zeigen.

In diesem Versuch beträgt die Ungleichmässigkeit der Rotation nur $1^1/_2$ Sek. pro 6 Minuten Umdrehungszeit, d. i. weniger als $^1/_2$%. Doch zeigt die einseitige Rosette, dass dies genügt um eine geotropische Reaktion auszulösen.

Sachs erwähnt in seiner „Experimental-Physiologie"[1]) den Fall dass ungleichmässige Rotation und Zentrifugalkraft zugleich ihre Wirkung auf Keimlinge ausüben. Er diskutiert den Fall theoretisch und erläutert ihn durch einen mechanischen Versuch ohne physiologische Bedeutung. Doch ist das Resultat auch bei Sachs eine derartige Ablenkung in der sonst allseitig symmetrischen Anordnung der Krümmungsrichtungen, dass diese mehr oder weniger demjenigen Radius zugeneigt sind, welcher am langsamsten den niedrigsten Punkt passiert. Wenn die periodische Ungleichmässigkeit der Rotation von einer exzentrischen Belastung herrührt, wird dieser Radius 90° hinter den Radius des Schwerpunktes zurückbleiben.

In den jetzt zu beschreibenden Versuchen brauchen wir ein Maass für die Einseitigkeit der geotropischen Induktionen, um die Versuche unter sich vergleichen zu können. Wegen der verschieden langen Umdrehungszeiten ist der Unterschied in der Zeitdauer der beiden Rotationshälften nicht dazu geeignet. Ich habe daher angegeben, wieviel

---

1) J. Sachs, Handbuch der Experimental-Physiologie der Pflanzen, Leipzig 1865, S. 108—109.

Digitized by Google

Prozente von der ganzen Umdrehungszeit dieser Unterschied ungefähr beträgt.

Der Schwerereiz wirkt einseitig auf die Keimwurzeln während einer Zeit, die übereinstimmt mit dem Unterschied in der Zeitdauer der beiden Rotationshälften. Die Wurzeln legen während dieser Zeit die Hälfte einer Umdrehung zurück, so dass der einseitig wirkende Komponent des Schwerereizes alle Werte von Null bis g durchläuft. Die wenigen Sekunden des Zeitunterschiedes representieren somit eine viel geringere geotropische Induktion, als wenn die Klinostatenachse während dieser kurzen Zeit still gestanden hätte. Bei jedem Versuch habe ich die Gesamtdauer der einseitigen geotropischen Induktion berechnet, und dabei die Worte „weniger als" hinzugefügt um auszudrücken, dass diese Gesamtdauer teils einer wenig wirksamen Stellung der gereizten Wurzel zugehört.

In dem hier behandelten Beispiel ist die Gesamtdauer weniger als $\frac{18 \times 1^1/_2 \times 60}{365^7/_{11}} = 4^1/_2$ Minuten.

Es erscheint diese Zeit als ausserordentlich gering und man wird nicht umhin können, der intermittierenden Reizung hier eine grosse Bedeutung für die geotropische Reaktion zuzuschreiben.

Von den kurz zu besprechenden Versuchen nenne ich nun zuerst zwei, in welchen die periodische Ungleichmässigkeit mehrere Prozente beträgt. Es fangen dann fast sämtliche Keimwurzeln während der Rotation an, nach der Richtung der maximalen geotropischen Induktion zu wachsen. Es ist dies der Fall, wenn der Wortmannsche Klinostat mit einer scheinbar gut zentrierten Belastung von ungefähr 1,8 kg rotiert, wie folgende Beispiele zeigen.

3 Januar 1905.

Vicia faba, grosssamige Varietät. Keimwurzeln 1 bis

Digitized by Google

3½ cm lang. 23 Keimlinge in Sägespäne im Zinkblechkistchen gepflanzt. Während 26 Stunden gedreht auf dem Wortmannschen Klinostaten. Temperatur 18° Celsius. Rotation bestimmt mit der Scheibe mit 8 Nadeln, mit der senkrecht unter der Umdrehungsachse gestellten Kontaktfeder und dem grossen Sekundenzeiger der Weckeruhr.

Oktant	1	106	394¾ Sek. pro Hälfte.
„	2	95¾	
„	3	93	
„	4	100¼	
„	5	109¾	439¾ „ „ „
„	6	108¼	
„	7	113	
„	8	109	

Summe der beiden Hälften 834½ Sek.
Unterschied „ „ „ 45 „ , d. i. < 5½ %.

Richtung der maximalen geotropischen Induktion zwischen Nadel 7 und 8. Von den 23 Keimwurzeln hatten sich 22 mit nur kleinen Ablenkungen in dieser Richtung gekrümmt. Nur 1 Exemplar war in der entgegengesetzten Richtung gebogen. Die Gesamtdauer der geotropischen Induktion war weniger als $\frac{26 \times 45 \times 60}{834\frac{1}{2}} = 84$ Minuten.

4 Januar 1905.

Vicia faba, mittelgrosssamige Varietät. Keimwurzeln ½ bis 1½ cm lang. 21 Keimlinge in Sägespäne im Zinkblechkistchen gepflanzt. Während 21 Stunden gedreht auf dem Wortmannschen Klinostaten. Temperatur 18° Celsius. Rotation bestimmt wie oben.

Digitized by Google

Oktant	1	$91\frac{1}{2}$	$372\frac{1}{2}$ Sek. pro Hälfte.
„	2	93	
„	3	$93\frac{1}{2}$	
„	4	$99\frac{1}{2}$	405 „ „ „
„	5	$107\frac{1}{2}$	
„	6	$103\frac{1}{2}$	
„	7	$94\frac{1}{2}$	
„	8	$94\frac{1}{2}$	

Summe der beiden Hälften $777\frac{1}{2}$ Sek.
Unterschied „ „ „ $32\frac{1}{2}$ „ , d.i. $> 4\,\%$.

Richtung der maximalen geotropischen Induktion nach Nadel 6. Die 21 Keimwurzeln waren alle ungefähr nach dieser Richtung gekrümmt. Die Gesamtdauer der geotropischen Induktion war weniger als $\frac{21 \times 32\frac{1}{2} \times 60}{777\frac{1}{2}} = 52\frac{1}{2}$ Minuten.

Von dem Wortmannschen Klinostaten gebe ich keine weiteren Beispiele, denn bei der üblichen Belastung ist hier die periodische Ungleichmässigkeit ungeachtet sorgfältiger Zentrierung immer so gross, dass völlig einseitige Rosetten erhalten werden.

Bei dem Motorklinostaten war die Ungleichmässigkeit sehr viel geringer; ich werde in den darauf bezüglichen Beispielen stets die Abbildung der Rosette beigeben.

In dem folgenden Versuche verursachte ich durch ein schweres Übergewicht eine ansehnliche Ungleichmässigkeit.

11 Januar 1905.

Vicia faba, mittelgrosssamige Varietät. Keimwurzeln 1 bis 4 cm lang. Keimlinge in Sägespäne gepflanzt, 32 im Zinkblechkistchen und 17 in einem hölzernen Kistchen. Während 20 Stunden gedreht auf dem Motorklinostaten, dessen Scheibe zwischen Stift 1 und 2 mit einem Übergewicht von 4 kg belastet war. Temperatur 18° Celsius. Rotation bestimmt mit der einfachen Chronographenmethode.

Digitized by Google

Stift 1	$79\frac{4}{20}$		
„ 2	$85\frac{3}{20}$	$167\frac{5}{20}$ Sek. pro Hälfte.	
„ 3	$82\frac{2}{20}$		
„ 4	$76\frac{17}{20}$	$156\frac{1}{20}$ „ „ „	

Summe der beiden Hälften $323\frac{3}{10}$ Sek.
Unterschied „ „ „ $11\frac{1}{5}$ „ , d. i. $< 3^1/_2$ %.

Richtung der maximalen geotropischen Induktion nach Stift 2, ein wenig nach der Seite von Stift 1.

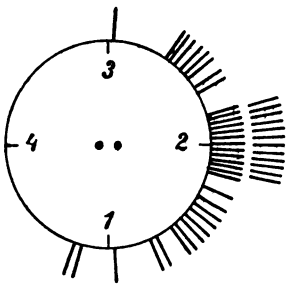


Fig. 6.

Wie Fig. 6 zeigt, hat weitaus die Mehrzahl der Keimwurzeln gerade in dieser Richtung eine Ablenkung von ihrer ursprünglichen Wachstumsrichtung erfahren. Die Gesamtdauer der geotropischen Induktion war weniger als $\frac{20 \times 11\frac{1}{5} \times 60}{323\frac{3}{10}} =$ $41\frac{1}{2}$ Minuten.

Wenn ich kein beabsichtigtes grosses Übergewicht an die Scheibe befestigte, betrug die periodische Ungleichmässigkeit weniger als 1%. Die Rosette war dann noch sehr deutlich einseitig, wie die beiden folgenden Beispiele zeigen.

23 Januar 1905.

Vicia faba, kleinsamige Varietät, in Sägespäne ausgesät.

Wenn die Keimwurzeln sichtbar waren, wurden 48 Keimlinge in feuchte Erde in zwei hölzernen Kistchen gepflanzt. 23 Stunden später befestigte ich die beiden Kistchen auf den Motorklinostaten. Rotation während 24 Stunden. Temperatur 18°—19° Celcius. Die Rotation wurde bestimmt mit der einfachen Chronographenmethode; Kontaktfeder wie immer rechts in der horizontalen Ebene durch die Umdrehungsachse.

Digitized by Google

Stift 1	$91\frac{27}{50}$	$187\frac{24}{50}$ Sek. pro Hälfte.	
„ 2	$93\frac{48}{50}$		
„ 3	$93\frac{26}{50}$	$183\frac{42}{50}$ „ „ „	
„ 4	$92\frac{15}{50}$		

Summe der beiden Hälften $371\frac{8}{25}$ Sek.
Unterschied „ „ „ $3\frac{16}{25}$ „ , d. i. < 1 %.

Die Tabelle zeigt, dass die Richtung der maximalen geotropischen Induktion nach Stift 2 gewendet war, ein wenig an der Seite von Stift 3.

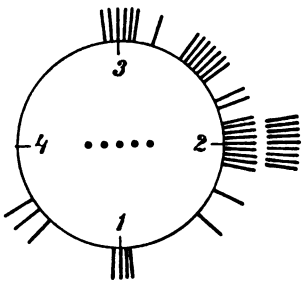


Fig. 7.

Fig. 7 zeigt, dass die Krümmungsrichtung der meisten Wurzeln völlig damit übereinstimmt. Die Gesamtdauer der geotropischen Induktion war weniger als $\frac{24 \times 3^{16}/_{25} \times 60}{371^{8}/_{25}} =$ 14 Minuten.

13 Januar 1905.

Pisum sativum. Keimwurzeln ungefähr $2^1/_2$ cm lang. 46 Keimlinge in Sägespäne im Zinkblechkistchen gepflanzt. Während 19 Stunden gedreht auf dem Motorklinostaten. Temperatur 17°—18° Celsius. Rotation bestimmt mit der automatischen Chronographenmethode; die 2 Kontaktfedern standen 65° voneinander entfernt Die erste Feder stand wie immer rechts in der horizontalen Ebene durch die Achse.

Stift 1	64	$130\frac{18}{60}$ Sek. pro Hälfte.	
„ 2	$64\frac{56}{60}$		
„ 3	$65\frac{22}{60}$	$128\frac{9}{60}$ „ „ „	
„ 4	$64\frac{9}{60}$		

Summe der beiden Hälften $258\frac{9}{20}$ Sek.
Unterschied „ „ „ $2\frac{3}{20}$ „ , d. i. < 1 %.

Digitized by Google

Richtung der maximalen geotropischen Induktion nach Stift 2, ein wenig nach der Seite von Stift 3.

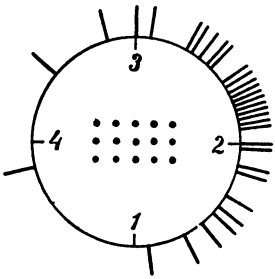


Fig. 8.

Wie Fig. 8 zeigt, sind die Krümmungen in der grossen Mehrzahl nach dieser Richtung gewendet, obwohl eine ziemlich grosse Zahl der Erbsenwurzeln keine Krümmung erfahren hatte. Die Gesamtdauer der geotropischen Induktion war weniger als $^{90}/_{65} \times \frac{19 \times 2^3/_{10} \times 60}{258^9/_{20}} = 13^1/_4$ Minuten.

Im zweiten Kapitel wurde erklärt, wie durch verschiedene Befestigung der Versuchskistchen die von der Reibung der Bremsscheibe verursachte periodische Ungleichmässigkeit zum Teil kompensiert werden konnte. Dadurch war es möglich, die Ungleichmässigkeit bis auf weniger als $^1/_2$ % zurückzuführen. Dass auch dann noch eine übereinstimmende Einseitigkeit in den Rosetten zu erkennen war, zeigen die beiden folgenden Beispiele.

7 Januar 1905.

Vicia faba, mittelgrosssamige Varietat. Keimwurzeln ungefähr 2 cm lang. 20 Keimlinge in Sägespäne im Zinkblechkistchen gepflanzt. Während 28 Stunden gedreht auf dem Motorklinostaten. Temperatur 19° Celsius. Rotation bestimmt mit dem grossen Sekundenzeiger der Weckeruhr; Kontaktfeder rechts in der horizontalen Ebene durch die Achse stehend.

Stift 1	$85\frac{14}{36}$	$171\frac{3}{36}$ Sek. pro Hälfte.
„ 2	$85\frac{25}{36}$	
„ 3	$85\frac{4}{36}$	$169\frac{18}{36}$ „ „ „
„ 4	$84\frac{14}{36}$	

Summe der beiden Hälften $340\frac{7}{12}$ Sek.
Unterschied „ „ „ $1\frac{7}{12}$ „ , d. i. $< 1/2$ %.

Digitized by Google

Richtung der maximalen geotropischen Induktion zwischen Stift 1 und 2.

Wie Fig. 9 zeigt, sind die Krümmungen in dieser Richtung zahlreicher als in den anderen Richtungen. Die Gesamtdauer der geotropischen Induktion war weniger als

$$\frac{28 \times 1^7/_{12} \times 60}{340^7/_{12}} = 7^3/_4 \text{ Minuten.}$$

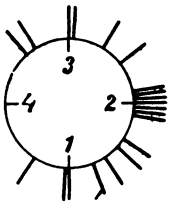


Fig. 9.

20 Januar 1905.

Vicia faba, kleinsamige Varietät, in Sägespäne ausgesät. Als die Keimwurzeln gerade sichtbar waren, wurden 46 Keimlinge in Sägespäne in zwei hölzernen Kistchen gepflanzt und 24 Stunden später auf den Motorklinostaten gebracht. Rotation während 24 Stunden. Temperatur 17° – 18° Celsius. Die Rotation wurde bestimmt mit der einfachen Chronographenmethode und mit dem Chronoskope, das halbe Sekunden auf den Russpapierstreifen auf dem Umkreis der Scheibe registrierte. Beide Methoden zeigten, dass die Richtung der maximalen geotropischen Induktion sich zwischen Stift 1 und 2 befand, wie die Tabelle der durchschnittlichen Chronographenablesungen zeigt:

Stift 1	$88\frac{40}{60}$		
„ 2	$89\frac{32}{60}$	$178\frac{23}{60}$ Sek. pro Hälfte.	
„ 3	$88\frac{51}{60}$		
„ 4	$88\frac{4}{60}$	$176\frac{44}{60}$ „ „ „	

Summe der beiden Hälften $355\frac{7}{60}$ Sek.
Unterschied „ „ „ $1\frac{13}{60}$ „ , d. i. < 1/2 %.

Wie Fig. 10 zeigt, stimmt die Hauptrichtung der Wurzelkrümmungen wieder mit der Richtung der maximalen geotropischen Induktion überein. Die Gesamtdauer der

Digitized by Google

geotropischen Induktion war weniger als $\frac{24 \times 1\frac{13}{20} \times 60}{355\frac{7}{60}} =$ $6\frac{3}{4}$ Minuten.

Bei diesem Versuche war durch das Chronoskop gezeigt worden, dass die Rotation des Motorklinostaten in den kleinsten Unterteilen sehr unregelmässig war. Doch ist die erhaltene Rosette sehr viel weniger einseitig als bei dem Wortmannschen Klinostaten und ist somit der Zweck des Klinostaten hier, ungeachtet der nicht so gelinden Bewegung, viel besser erfüllt als dort.

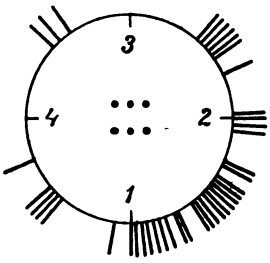


Fig. 10.

Wenn die periodische Ungleichmässigkeit sich noch verringert, wird auch die Rosette noch regelmässiger. Die regelmässigste Rosette, welche in den Versuchen mit dem Motorklinostaten in meinen Protokollen anwesend war, ist die folgende, welche jedoch nur eine geringere Zahl der Keimlinge enthält.

9 Januar 1905.

Vicia faba, mittelgrosssamige Varietät. Keimwurzeln ungefähr 2½ cm lang. 17 Keimlinge in Sägespäne im Zinkblechkistchen gepflanzt. Während 24 Stunden gedreht auf dem Motorklinostaten. Temperatur 20° Celsius. Rotation bestimmt wie beim vorletzten Versuche.

Stift 1	$85\frac{7}{16}$	$171\frac{8}{16}$ Sek. pro Hälfte.	
„ 2	$86\frac{1}{16}$		
„ 3	$85\frac{4}{16}$	$170\frac{12}{16}$ „ „ „	
„ 4	$85\frac{8}{16}$		

Summe der beiden Hälften $342\frac{1}{4}$ Sek.

Unterschied „ „ „ $\frac{3}{4}$ „, d. i. $< \frac{1}{4}$ %.

Digitized by Google

Richtung der maximalen geotropischen Induktion nach Stift 1.

Wie Fig. 11 zeigt, sind die Krümmungen fast gleichmässig nach allen Seiten gerichtet. Doch ist die Hälfte von Stift 1 ein wenig bevorzugt. Die Gesamtdauer der geotropischen Induktion war weniger als $\frac{24 \times \frac{3}{4} \times 60}{342\frac{1}{4}} =$ 3 Minuten.

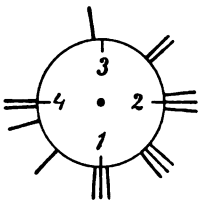


Fig. 11.

Ich illustriere die Empfindlichkeit der Keimlinge jetzt noch durch einige Versuche, welche mit dem von mir konstruierten Klinostaten angestellt wurden. Die Rotation war ruckweise. Die Umlaufzeit war 6 Minuten, indem die Umdrehungsachse nach jeder Sekunde einen Grad weiter drehte. Wenn die Achse aber an einen bestimmten Punkt der Umdrehung gekommen war, konnte ich sie jedesmal eine willkürlich bestimmte Zahl von Sekunden still stehen lassen. Diese Vorrichtung diente also um die Zeitschwelle für geotropische Reize zu ermitteln.

17 August 1906.

Lupinus albus. Von den geweichten Samen wurden 114 Stück in Sägespäne im Zinkblechkistchen und in 3 hölzernen Kistchen gepflanzt. Die Kistchen wurden horizontal gestellt bis die Keimwurzeln ungefähr 2½ cm lang waren. Dann wurden sie in der üblichen Stellung an die horizontale Umdrehungsachse des neuen Klinostaten befestigt und rotierten sie während 15 Stunden ohne periodische Ungleichmässigkeit. Umlaufzeit 6 Minuten. Temperatur 19° Celsius.

Fig. 12 zeigt, dass die Krümmungsrichtungen nicht einseitig verteilt sind, wenn auch bei noch grösserer Zahl der Keimlinge vielleicht eine noch regelmässigere Rosette zu erhalten wäre. Wenn ich von den 4 Kistchen gesondert die Rosetten bestimmte, war auch in keiner

Digitized by Google

dieser 4 Partialrosetten eine besonders bevorzugte Krümmungsrichtung zu erkennen.

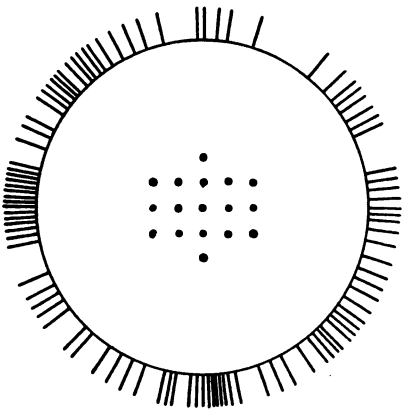


Fig. 12.

9 Februar 1907.

Lupinus albus. Von den geweichten Samen wurden 114 Stück in Sägespäne in einer grösseren, in 8 Teile verteilten Holzkiste gepflanzt, welche horizontal gestellt wurde bis die Keimwurzeln ungefähr 2 cm lang waren. Dann wurde die Kiste in der üblichen Stellung befestigt und rotierte sie während 16 Stunden. Die Umlaufzeit war 6 Minuten; in einer bestimmten Stellung trat bei jeder Umdrehung jedoch eine Ruhepause von 1 Sekunde ein. Der Radius, der während dieser Ruhepause senkrecht nach unten gerichtet war, ist in der Rosette durch R angedeutet. Temperatur 25° Celsius.

Fig. 13 lehrt, dass die einseitige geotropische Induktion sich deutlich zeigt in den Krümmungsrichtungen der Keimwurzeln, denn die Richtung R der Ruhepause ist sehr bevorzugt. Doch betrug die Pause nur 1 Sekunde in 6 Minuten d. i. weniger als $\frac{1}{3}$ %. Die Gesamtdauer der geotropischen Induktion war $\frac{16 \times 1 \times 60}{361} = 2\frac{2}{3}$ Minuten.

Digitized by Google

Bei der Befestigung der Kiste in der gewünschten

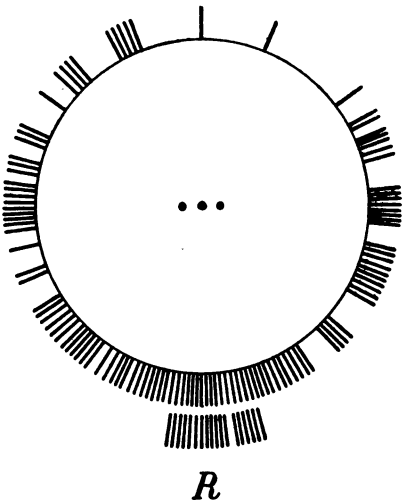


Fig. 13.

Stellung tritt während einiger kurzen Augenblicke eine geotropische Induktion im Sinne der Ruhepause ein. Ich gebe darum noch ein Beispiel, wobei diese Induktion durch eine längere entgegengesetzte mehr als aufgewogen wurde.

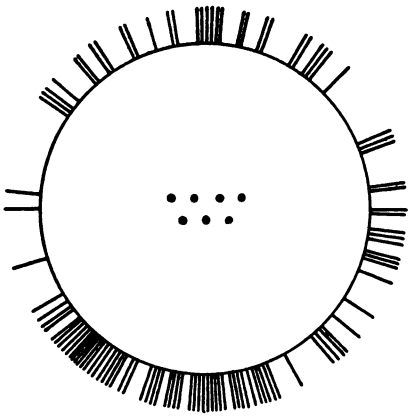
10 Februar 1907.

Lupinus albus. Von den geweichten Samen wurden 110 Stück in Sägespäne im Zinkblechkistchen und in 3 hölzernen Kistchen gepflanzt, welche horizontal gestellt wurden bis die Keimwurzeln ungefähr 2 cm lang waren. Dann wurden die Kistchen in der üblichen Stellung befestigt und rotierten sie während 18 Stunden. Umlaufzeit, Ruhepause und Temperatur wie beim vorigen Versuche.

Fig. 14 zeigt die Rosette, welche noch deutlich die Richtung R der Ruhepause bevorzugt. Es sind 65 Keimwurzeln nach der unteren Hälfte der Fig. 14 gekrümmt

Digitized by Google

und 35 nach der oberen Hälfte. Die Gesamtdauer der Induktion war $\frac{18 \times 1 \times 60}{361} = 3$ Minuten.



R

Fig. 14.

Die Versuche mit dem neuen Klinostaten müssen wiederholt und vermehrt werden um die präzise Reizschwelle der Keimwurzeln zu ermitteln. Doch habe ich sie hier schon mitgeteilt, weil die Umstände des Versuches hier einfacher sind als bei den anderen Klinostaten, wo die periodische Ungleichmässigkeit aus den durchschnittlichen Chronographenablesungen bestimmt werden muss.

Anhangsweise erwähne ich noch einen Versuch, der mit den Hypokotylen von *Helianthus annuus* angestellt wurde.

10 Juli 1906.

Helianthus annuus; Samen gesät in einen kleinen Topf mit Erde, der mit grobmaschiger Gaze überzogen wurde. Wenn die Hypokotyle im Dunkeln eine Länge von 2 bis 7 cm erreicht hatten, befestigte ich den Topf in den Topfhalter an der horizontalen Umdrehungsachse des

Digitized by Google

Wortmannschen Klinostaten und äquilibrierte ihn sorgfältig. Die Hypokotyle standen parallel mit der Umdrehungsachse. Die Rotation wurde mehrmals bestimmt mit der automatischen Chronographenmethode.

Stift	1	$162\frac{17}{44}$	$339\frac{24}{44}$ Sek. pro Hälfte.
„	2	$169\frac{25}{44}$	
„	3	$169\frac{43}{44}$	
„	4	$162\frac{35}{44}$	$325\frac{8}{44}$ „ „ „
Summe	der beiden Hälften		$664\frac{8}{11}$ Sek.
Unterschied	„ „ „		$14\frac{4}{11}$ „ , d. i. > 2 %.

Nachdem der Topf mehr als drei Tage lang im Dunkeln rotiert hatte, war noch nicht die geringste Krümmung der Hypokotyle zu erkennen.

Als ich dann die Umdrehungsachse aus dem Gehwerk schaltete und mithin still setzte, waren am nächsten Morgen alle Hypokotyle nach oben gekrümmt. Die hierdurch bewiesene geotropische Empfindlichkeit der Hypokotyle war also nicht gross genug um eine Reaktion auf die periodische Ungleichmässigkeit der Drehung von mehr als 2 % auszulösen.

Digitized by Google

KAPITEL IV.

Die Bedingungen für die Anwendung des Klinostaten bei horizontaler Achse.

Als Schlussfolgerung aus den beiden vorigen Kapiteln können zwei Bedingungen gelten, denen man Rechnung tragen soll beim künftigen Gebrauch des Klinostaten für reizphysiologische Untersuchungen. Die erste Bedingung ist, dass man sich überzeugen soll dass keine periodische Ungleichmässigkeit in der Rotation des benutzten Klinostaten anwesend sei. Die zweite Bedingung ist die Anwendung einer so grossen Zahl der Versuchspflanzen, dass der Einfluss der spontanen Nutationen eliminiert wird. Beide waren seit lange bekannt. Nicht bekannt war jedoch, dass mit ihrer Erfüllung grosse Schwierigkeiten verknüpft sind, welche mit Hülfe der heutigen Klinostaten kaum zu überwinden sind. Ich werde diese beiden Bedingungen nach einander etwas ausführlicher besprechen und schliesslich ihre Bedeutung für die Beurteilung der geotropischen Literatur angeben.

Im Anfang des zweiten Kapitels habe ich erwähnt, dass H. Dutrochet schon in 1824 eine periodische Ungleichmässigkeit in der Rotation entdeckte, welche von einem Übergewicht der Belastung verursacht wurde. Ebenfalls führte ich an, dass J. Sachs in 1874 die Notwendigkeit einer guten Zentrierung angab. Die Erfinder der Federklinostaten erkennen diese Notwendigkeit alle. So spricht

Digitized by Google

Wortmann von der Eliminierung des eventuellen Übergewichtes, „ohne dessen Vermeidung die Regelmässigkeit der Axenumdrehungen sehr gestört werden kann" [1])

Es mag Wunder nehmen, dass in der Literatur nicht angegeben wird, bis zu welchem Grade genau die Zentrierung geschehen soll. Der Wortmannsche Klinostat verlangsamt seine Bewegung bei horizontaler Achse bedeutend, so bald er belastet wird. Diese Verlangsamung wurde schon von Wortmann selbst konstatiert [2]). Doch ist daraus ohne weiteres zu entnehmen, dass die Drehung periodisch von einem Übergewicht beeinflusst werden muss.

Es gilt dies für alle Federklinostaten mit Flügelregulation. Wo Fitting erwähnt, dass bei seinen Pfefferschen Klinostaten „durch Vorversuche eine absolut gleichmässige Rotation sichergestellt worden war" [3]), ist gewiss nicht an eine bis auf eine Sekunde genaue Kontrollierung der Drehung zu denken. Im zweiten Kapitel ist ja gezeigt worden, dass ein mit der Zentrierungsvorrichtung nicht zu entdeckendes Übergewicht die Flügelregulation schon bedeutend beeinflusst. Dies gilt für die horizontale, und in entsprechend geringerem Maasse auch für die geneigte Achsenlage. Fitting giebt an, dass er die Zentrierung mit Hülfe der üblichen Lockerung der Umdrehungsachse vorgenommen hat [4]).

Wenn Pfeffer in seinem Handbuch erwähnt hat, dass man mit seinem Klinostaten gleichzeitig einige Blumentöpfe um die horizontale Achse in Drehung setzen kann, fügt er daran zu: „Besonders bei einer so ansehnlichen Inanspruchnahme muss für Aequilibrirung, d. h. dafür gesorgt sein, dass der Apparat in jeder Phase der Umdrehung

---

1) J. Wortmann, l. c. 1886, S. 246.
2) J. Wortmann, l. c. 1886, S. 248.
3) H. Fitting, l. c. 1905, S. 252.
4) l. c. S. 228.

Digitized by Google

ungefähr dieselbe Arbeit zu leisten hat" [1]). Die Worte „besonders" und „ungefähr" deuten keinen sehr hohen Grad der geforderten Genauigkeit der Zentrierung an. Doch ist jetzt sichergestellt, dass der Fehler der periodischen Ungleichmässigkeit dem Bau dieses Klinostaten inhärent ist, ungeachtet der genauesten Zentrierung.

Im dritten Kapitel wurde gezeigt, dass die geringste periodische Ungleichmässigkeit schon eine geotropische Reaktion der Keimwurzeln auslösen konnte, welche statistisch, mit Hülfe einer grösseren Zahl der Versuchspflanzen, ans Licht trat. Zwar ist ein einziger solcher Versuch nicht sehr beweisend, doch habe ich niemals eine Rosette erhalten, welche eine bevorzugte Wachstumsrichtung zeigte die der Richtung der maximalen geotropischen Induktion mehr oder weniger entgegengesetzt war. Es folgt hieraus, dass wenn auch bei weniger empfindlichen Versuchsobjecten als Keimwurzeln, eine Reaktion eben nicht eintreten wird, doch wenigstens eine einseitige geotropische Induktion von der periodischen Ungleichmässigkeit verursacht wird. Diese kann sich mit anderwärtigen Induktionen zusammenstellen und dadurch Fehler verursachen bei reizphysiologischen Untersuchungen.

Ich halte es darum für notwendig, dass man sich künftig von der Gleichmässigkeit der Rotation der benutzten Klinostaten überzeugt. Die beschriebene automatische Chronographenmethode ist dazu die zuverlässigste Methode. Um mit ihrer Hülfe ein sicheres Resultat zu erhalten, soll man die Ablesungen wenigstens so lange fortsetzen, bis die aus $\frac{n}{2}$ und aus n Umdrehungen berechnete periodische Ungleichmässigkeit die nämliche Orientierung zeigt. Eine andere, nicht statistische Methode ist unverwendbar wegen der vielen nicht periodischen Schnelligkeitsänderungen,

1) W. Pfeffer, l. c. Bd. II, 1904, S. 571.

Digitized by Google

welche übrigens den Zweck des Klinostaten wenig beeinträchtigen.

Am Schluss des zweiten Kapitels sind die verschiedenen Klinostatentypen bezüglich ihrer Gleichmässigkeit der Rotation mit einander verglichen. Es stellte sich heraus, dass nur die Motorklinostaten unter gewissen dort erwähnten Bedingungen künftig benutzt werden sollten. Wenn die Schwellen der geotropischen Empfindlichkeit später besser untersucht worden sind, kann vielleicht die physische Kontrolle der Drehung dieser Motorklinostaten durch eine physiologische mit Hülfe etwa der Keimwurzeln ersetzt werden. Diese ist weniger zeitraubend und wird durch das grössere Tragvermögen der Motorklinostaten besser ermöglicht.

Immerhin wäre es erwünscht, einen Klinostaten zu haben der durch andere Prinzipien ihres Baues keine periodische Ungleichmässigkeit zeigen sollte. Der von mir konstruierte Klinostat ist nach den folgenden Prinzipien konstruiert.

a. Die Triebkraft kann die Umdrehungsachse nur jedesmal etwas weiter drehen, wenn sie mit Hülfe eines Gesperres freigestellt wird. Die Bewegung ist somit ruckweise und der Spielraum im Eingriff der Zähne hat keinen Einfluss. Die Triebkraft ist ein Gewicht, dass sich jedesmal automatisch wieder aufzieht.

b. Die Regulierung ist völlig unabhängig von der Triebkraft und von der Belastung; sie wird geliefert von einem Pendeluhrwerk, das an bestimmten Zeitpunkten das Gesperre elektromagnetisch freistellt.

c. Die Stösse bei der ruckweisen Drehung werden gemildert erstens durch Windflügel; zweitens dadurch dass das Gesperre nicht sogleich auf die Umdrehungsachse wirkt, sondern durch ein Getriebe davon entfernt ist.

Digitized by Google

Man kann ferner der Umdrehungsachse jede Neigung geben. Das Instrument ist zugleich intermittierender Klinostat und hat besondere Vorrichtungen für die Bestimmung von Reiz- und Unterschiedsschwellen. Die Konstruktion dieses Klinostaten verbürgt eine Rotation ohne periodische Ungleichmässigkeit; er ist durch seinen komplizierten Bau jedoch nur für Untersuchungszwecken, nicht etwa für Demonstrationen u. d. g. anzuwenden. Wie in der Einleitung erwähnt, wird er bald ausführlich beschrieben werden.

Die zweite der genannten Bedingungen für den Gebrauch des Klinostaten war die Anwendung einer so grossen Zahl der Versuchspflanzen, dass der Einfluss der spontanen Nutationen eliminiert wird. Die spontanen Nutationen werden schon von den älteren Autoren erwähnt und Sachs hat sehr auf sie geachtet. Für seine Untersuchung über das Wachstum der Haupt- und Nebenwurzeln hat er sogar 10 Kilo Samen von *Vicia faba* und etwa 2 Kilo Erbsen benutzt [1]). Er sah diese Nutationen auf dem Klinostaten viel stärker auftreten und schrieb sie inneren, im Gewebe selbst liegenden Ungleichheiten zu [2]).

In den im dritten Kapitel beschriebenen Versuchen hat sich herausgestellt dass die spontanen und von äusseren Hindernissen bedingten Nutationen ausserordentlich zahlreich sind. Fast alle Wurzeln krümmen sich bei gleichmässiger Rotation in einer zufälligen Richtung. Obwohl dergleiche Erfahrungen von vielen Autoren gelegentlich erwähnt werden, soll man diese Erscheinung doch noch mehr als bis jetzt in Rechnung bringen bei der Beurteilung der mit Hülfe des Klinostaten erhaltenen Versuchsresultate.

Wenn ich ein Kistchen mit Keimlingen, das etwa 24 Stunden gleichmässig rotiert hatte, in Ruhe setzte,

---

1) J. Sachs, l. c. 1873, S. 385.

2) l. c. S. 402.

Digitized by Google

waren nach einigen Stunden immer fast alle Spitzen der nach verschiedenen Richtungen gekrümmten Wurzeln nach unten gebogen. So ist im Boden die Schwere fortwährend tätig um alle die entstandenen Ablenkungen der geraden Richtung der Keimwurzeln wieder auszugleichen.

Das grössere Tragvermögen der neueren Klinostaten ist sehr vorteilhaft für die Anwendung einer grossen Zahl der Versuchspflanzen.

Schliesslich ist zu besprechen, inwiefern die Resultate dieser Untersuchung die Beurteilung der geotropischen Literatur beeinflussen könnten. Allerdings unterscheidet sich diese Literatur durch zahlreiche Widersprüche in den erhaltenen Resultaten. Die Streitfrage über die Gehirnfunktion der Wurzelspitze und über das Verhältnis der unter verschiedenem Neigungswinkel einwirkenden geotropischen Induktionen sind Beispiele davon. Wenn darüber die verschiedensten und völlig entgegengesetzten Meinungen verkündigt sind, ist dies vielleicht zum Teil dem Mangel eines zuverlässigen Klinostaten zuzuschreiben.

Doch soll man den Einfluss dieses Mangels nicht überschätzen. Viele geotropischen Untersuchungen sind nicht mit Keimwurzeln, sondern mit Hypokotylen und Stengeln angestellt, welche eine geringere Empfindlichkeit besitzen und weniger spontane Nutationen zeigen. Vielleicht ist die geringere Lokalisation der Streckungszone hier günstiger für die Erhaltung der geraden Richtung. Obwohl über die Reiz- und Unterschiedsschwellen hier noch manches zu untersuchen ist, lässt sich doch für die Stengelorgane besseres erwarten, auch auf Grund des am Schluss des dritten Kapitels erwähnten Versuches mit den Hypokotylen von *Helianthus annuus*.

Wenn man also die erhaltenen Schlüsse der geotropischen Literatur grössenteils aufrecht halten kann, so ist doch künftig der eventuelle Fehler der periodischen Ungleichmässigkeit zu vermeiden. Wo die von ihm verursachte

Digitized by Google

geotropische Induktion eben noch keine Reaktion auslöst, kann sie sich doch — wie oben erwähnt — mit den zu untersuchenden Induktionen zusammenstellen und dadurch zu irrigen Schlüssen Anlass geben.

GRONINGEN, am 10 März 1907.

Digitized by Google

INHALTSÜBERSICHT.

Seite.

Einleitung 173

KAPITEL I.

DIE PRINZIPIEN IM BAU DER BIS JETZT KONSTRUIERTEN KLINOSTATEN.

Die ältesten Klinostaten 175
Der Sachssche Klinostat 178
Die anderen Pendelklinostaten 180
Die Federklinostaten mit Ankerregulation 182
Die Federklinostaten mit Flügelregulation 187
Der Mollsche Klinostat 192
Die anderen Motorklinostaten 197

KAPITEL II.

DIE UNGLEICHMÄSSIGKEIT IN DER ROTATION DER KLINOSTATEN.

Die Notwendigkeit einer gleichmässigen Rotation . 201
Die untersuchten Federklinostaten 202
Die möglichen Ursachen der Ungleichmässigkeit ihrer Rotation 203
Die einfachsten Methoden um die periodische Ungleichmässigkeit zu bestimmen 204
Die anfängliche Zunahme der Rotationsgeschwindigkeit 208
Die Bestimmung der periodischen Ungleichmässigkeit mittelst des Kymographions. 210

Digitized by Google

Seite.

Die Übereinstimmung der einfachen Chronographenmethode mit der Kymographenmethode 215
Die Münsterbergsche Uhr zur Bestimmung von Reaktionszeiten 218
Die automatische Chronographenmethode und ihre Vorteile 219
Die periodische Ungleichmässigkeit wird nicht von einer schiefen Stellung des Gelenkes der Umdrehungsachse verursacht 224
Die Ursache der periodischen Ungleichmässigkeit liegt nicht im Gehwerk des Klinostaten selbst. . . . 226
Ein Übergewicht, das mit der Zentrierungsvorrichtung nicht aufzufinden ist, verursacht schon eine periodische Ungleichmässigkeit der Rotation des Wortmannschen Klinostaten 230
Dasselbe gilt für die Pfefferschen Klinostaten . . 245
Eine schnellere Drehung wird noch stärker vom Übergewicht beeinflusst als eine langsamere 248
Die Untersuchung des Mollschen Motorklinostaten mittelst der Chronographenmethoden 252
Die möglichen Ursachen einer ungleichmässigen Rotation der Motorklinostaten 255
Die anfängliche Zunahme der Rotationsgeschwindigkeit des Motorklinostaten 256
Der Gang des Motorklinostaten wird periodisch von einem Übergewicht beeinflusst 258
Die graphische Bestimmung der Ungleichmässigkeit 262
Die Rotation wird nicht nur von einer einseitigen Reibung, sondern auch von geringeren Übergewichten beeinflusst 265
Die Rotation des Wortmannschen und Mollschen Klinostaten bei senkrechter Achse 269
Die Rotation der nicht untersuchten Klinostaten bei horizontaler Achse 275

Digitized by Google

KAPITEL III.

Der Einfluss einer periodischen Ungleichmässigkeit der Klinostatendrehung auf die Wurzeln von Keimlingen.

Seite.

Die Grenzen der geotropischen Sensibilität der Pflanzenorgane. 278
Die Vorteile der Benutzung von Keimwurzeln . . . 281
Die benutzte Methode 282
Ausführliches Beispiel 286
Die Unzulänglichkeit des Wortmannschen Klinostaten 290
Der Einfluss von sehr geringen periodischen Ungleichmässigkeiten 292
Versuche mit dem von mir konstruierten Klinostaten 298

KAPITEL IV.

Die Bedingungen für die Anwendung des Klinostaten bei horizontaler Achse.

Die Notwendigkeit der genauen Kontrollierung der Klinostatendrehung 303
Die Prinzipien eines Klinostaten, der keine periodische Ungleichmässigkeit der Rotation zeigen kann . . 306
Das Eliminieren der spontanen Nutationen 307
Die Bedeutung der ungleichmässigen Rotation der Klinostaten für die geotropische Literatur . . . 308

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google